Piero Angela

viaggi nella scienza

Con contributi di
F. Foresta Martin, D. Mainardi, L. Pinna,
G. Poli, M. Visalberghi

Garzanti

il mondo di QUARK

Dopo il successo della trasmissione televisiva, Piero Angela ha riunito in questo libro il meglio di «Quark», rielaborando, ampliando (e in varie parti completamente riscrivendo) gli argomenti trattati nel programma, con il contributo dei principali autori.
Il libro segue un filo conduttore cronologico, che partendo dalle origini dell'umanità porta ai problemi del presente e del futuro, muovendosi costantemente sulle due sponde della conoscenza: quella della ricerca di base (che tenta di capire l'uomo, la natura, le leggi che regolano la vita, l'universo, il cervello, il comportamento) e quella della ricerca applicata (con tutte le sue implicazioni energetiche, industriali, educative, militari, spaziali).
È un viaggio di grande attualità nella scienza e nella tecnologia, realizzato con il costante desiderio di capire le cose e di organizzarle in un ragionamento d'insieme.
Capire la scienza, infatti,significa anche comprendere meglio l'uomo; capire la tecnologia significa interpretare in modo nuovo i cambiamenti che si producono nelle nostre società, individuando le leve e i meccanismi che sono alla base delle trasformazioni. E anche delle crisi. In modo da poter agire nei sistemi in modo più intelligente.

Piero Angela è nato a Torino, ed è giornalista professionista. Per molti anni ha svolto il lavoro di inviato e ha realizzato numerosissime inchieste televisive di carattere scientifico. Collabora al quotidiano «la Repubblica» ed è autore di numerosi,saggi.
Con l'editore Garzanti ha pubblicato altri sei libri: *L'uomo e la marionetta,* sui meccanismi della vita e della mente; *Da zero a tre anni,* sull'influenza dell'ambiente nella prima infanzia; *La vasca di Archimede,* sull'incapacità della nòstra cultura di capire (e orientare) i cambiamenti provocati dalla tecnologia; *Nel buio degli anni luce,* sui meccanismi inceppati dello sviluppo economico; *Viaggio nel mondo del paranormale,* sui presunti fenomeni parapsicologici e sull'irrazionale; *Nel cosmo alla ricerca della vita,* sull'origine della vita e sulla possibilità che esistano altre forme d'intelligenza nell'universo.
Per l'editore Laterza ha pubblicato un libro-intervista col fisico Edoardo Amaldi: *Intervista sulla materia. Dal nucleo alle galassie.*

Dello stesso autore:

L'uomo e la marionetta **(1972)**
Da zero a tre anni **(1973)**
La vasca di Archimede **(1975)**
Nel buio degli anni luce **(1977)**
Viaggio nel mondo del paranormale **(1978)**
Nel Cosmo alla ricerca della vita **(1980)**

PIERO ANGELA

Viaggi nella scienza
Il mondo di Quark

GARZANTI

INTRODUZIONE

Quark, come è ormai noto, è il nome dato dai fisici a quelle ipotetiche particelle che si troverebbero all'interno del nucleo dell'atomo, e che costituirebbero i più piccoli mattoni conosciuti della materia.

Come in un gioco di scatole cinesi, la ricerca dei quark è, in sostanza, la ricerca degli ultimi «pezzi» (almeno per ora) contenuti nell'ultima scatoletta, per cercare di capire come si organizza la costruzione della natura, seguendo quali princìpi e forze. È, insomma, un «andare dentro» le cose, per cercarne le strutture di base.

È proprio questo desiderio di «andare dentro» le cose che ci ha spinti a chiamare *Quark* il programma televisivo che ha avuto un così largo successo tra il pubblico, e che viene ora in questo libro rielaborato, ampliato e in varie parti completamente riscritto.

In realtà, come si sa, per andar dentro le cose non basta andare nell'infinitamente piccolo: sarebbe infatti come voler capire in quale modo funziona una quercia scendendo semplicemente a livello degli atomi. La natura e, in particolare, gli esseri viventi hanno vari livelli di organizzazione. Se per esempio con un immaginario ascensore noi volessimo esplorare questi diversi livelli della quercia dovremmo scendere non solo al livello degli atomi, ma visitare anche quello delle molecole, delle cellule, delle foglie: cioè vedere gli aspetti non solo della fisica, ma della chimica, della biologia, della fisiologia. Non soltanto: ma dovremmo poi risalire per vedere come una quercia inter-agisce con gli altri alberi, con la terra in cui af-

*

fonda le radici, con l'aria che la circonda; e anche in quale modo l'intero bosco, di cui essa fa parte, inter-reagisce con la biosfera. E cercare poi di capire come tutte queste cose si influenzino a vicenda. Insomma con il nostro immaginario ascensore, ogni volta che esploriamo una struttura (vivente o no), dobbiamo cercare di penetrare e mettere in relazione le varie parti del sistema, capendone le connessioni in una visione d'insieme.

L'unitarietà dei processi e i collegamenti intrecciati tra i vari livelli di organizzazione è proprio una delle cose più affascinanti che escono oggi dallo studio della natura, e anche della natura umana.

Per questa ragione, pur zig-zagando in questo libro un po' in tutte le direzioni (alla ricerca, per così dire, dei «quark» della fisica, della biologia, del cervello, della tecnologia, dell'energia, dei sistemi umani, dei comportamenti culturali, e anche delle relazioni tra queste varie cose), abbiamo avuto l'impressione, in un certo senso, di fare sempre uno stesso discorso: il discorso cioè della conoscenza, che permette di viaggiare all'interno delle cose, andando non solo nell'infinitamente piccolo, ma anche nell'infinitamente grande, grazie a quel prezioso lanternino che la scienza ci mette oggi a disposizione.

Naturalmente la ricerca, oggi come in passato, non ha la pretesa di spiegare tutto: se ne guarda bene. Anzi, l'essenza della ricerca scientifica è proprio di considerare ogni conoscenza provvisoria, e cercare di superarla con nuove scoperte e ragionamenti.

Tuttavia, tentando di avvicinarsi alle cose in questo modo razionale è forse possibile trovare più agevolmente una strada, un metodo, per Capire meglio le cose intorno a noi: esplorare sia l'universo lontano delle galassie che quello interno del cervello. E anche per cercare di capire come utilizzare in modo più intelligente gli strumenti che la tecnologia ci mette oggi a disposizione.

Capire la scienza, infatti, significa capire meglio l'uomo, la sua origine, il suo comportamento (e mi son sempre stupito

che gran parte degli uomini di cultura siano così poco incuriositi dalle straordinarie scoperte sull'attività mentale, sugli istinti, sull'immaginazione, sul pensiero, oltre che sull'origine dell'universo, della vita e della sua evoluzione...).

Capire la tecnologia significa d'altro canto capire quali sono le grandi leve di trasformazione della società, e di conseguenza comprendere meglio quali sono le scelte da stimolare, da sviluppare, da modulare. O eventualmente da rifiutare. In tal senso questo libro desidera portare il suo contributo e la sua testimonianza.

Nella riorganizzazione del materiale abbiamo seguito un criterio cronologico, associando gli argomenti secondo una sequenza che dalle origini dell'umanità (attraverso il cervello, la macchina biologica, e l'energia) porta ai problemi del futuro.

Spero che i lettori ritroveranno in queste pagine quegli spunti di riflessione che le trasmissioni intendevano suggerire, mostrando la necessità di un nuova cultura che inglobi nella sua dimensione la capacità di capire la scienza e la tecnologia.

Infatti è quasi paradossale pensare che la nostra generazione è quella che dispone delle più grandi conoscenze scientifiche e delle più straordinarie macchine mai esistite nella storia, eppure è anche quella che sembra correre verso le crisi e le catastrofi più gravi.

Nel corso dei capitoli ci muoveremo costantemente sulle due sponde della conoscenza: quella della ricerca di base (che tenta di capire l'uomo, la natura, le leggi che regolano la vita, l'universo, il comportamento) e quella della ricerca applicata (con tutte le sue implicazioni energetiche, industriali, educative, militari, spaziali).

Un filo conduttore cucirà tutto il discorso, non solo dal punto di vista della narrazione, ma anche da quello concettuale: cioè, il costante desiderio di capire le cose, e di tentare di organizzarle tra loro in un ragionamento che ci permetta di partecipare meglio a questa grande avventura del sapere. Per essere uomini del nostro tempo. E non i lontani antenati di noi stessi...

Ringrazio vivamente gli autori che hanno collaborato a questo libro: Franco Foresta Martin, Danilo Mainardi, Lorenzo Pinna, Giangi Poli e Marco Visalberghi. I loro contributi saranno ogni volta evidenziati nel corso del testo.

Desidero inoltre ricordare con gratitudine le altre persone che hanno fatto parte della formidabile équipe di *Quark:* in particolare Rosanna Faraglia, Eva Bilardi, Donatella Levi e Cinzia Piat.

Gli antenati

Cominciamo il nostro viaggio esplorando il nostro passato. Sappiamo che in ogni cellula del nostro corpo portiamo un corredo di 46 cromosomi che racchiudono la nostra storia genetica: essi sono il risultato di una lunga selezione, cominciata ai primordi della vita sulla Terra e continuata poi lungo tutta la storia dell'evoluzione.

Di questa storia noi conserviamo una traccia precisa: certi « segmenti » dei cromosomi (geni) sono ancora quasi identici a quelli dei batteri, o delle piante o degli animali. In particolare i geni che regolano le funzioni vitali di base, come il metabolismo, sono rimasti pressoché inalterati nella storia dell'evoluzione, forse proprio perché sono stati questi i mattoni di base sui quali si è poi costruita la diversità.

Con la comparsa dell'uomo certi caratteri tipici sono naturalmente emersi, in particolare quelli che riguardano lo sviluppo cerebrale. E lungo migliaia di generazioni questi cromosomi si sono rimescolati in continuazione, attraverso gli accoppiamenti, le migrazioni, gli incroci.

In questo primo capitolo cercheremo di vedere appunto se è possibile risalire lungo il nostro albero genealogico attraverso lo studio dei cromosomi, e poi capire in quale modo questa storia della vita (che si è stratificata, per così dire, nel nostro patrimonio genetico) continua ancora oggi a influenzare il nostro comportamento, le nostre reazioni emotive e anche i nostri talenti.

Vi siete mai chiesti, per esempio, chi erano i vostri antenati? Chi era il bisnonno del bisnonno del vostro trisavolo? E ancora più indietro, chi erano i bisnonni dei suoi trisavoli? Che facce avevano, da dove venivano?

Nessun archivio è in grado di darci queste notizie. I registri, a un certo punto, si perdono nella notte dei tempi, e quanto alle facce di questi nostri avi non esistevano purtroppo alla loro epoca le macchine fotografiche. Qualcosa, però, si comincia a capire dei nostri antenati osservando il patrimonio genetico contenuto nelle nostre cellule.

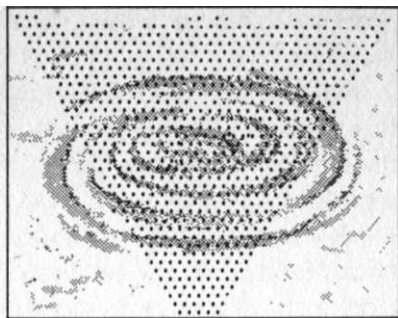
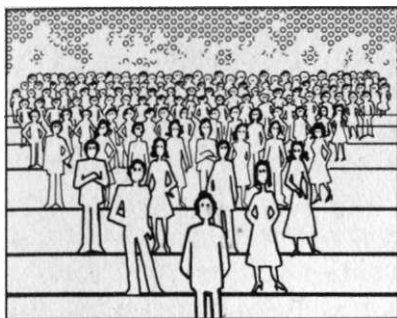
In altre parole si comincia a guardare il nucleo della cellula un po' come un catasto, in cui si trovano le « mappe » dei geni con i vari « passaggi di proprietà », per così dire.

Sono questi geni, rimescolati ad ogni generazione e frutto dell'incrocio di popolazioni che si sono susseguite, che determinano oggi tutti i nostri caratteri genetici, a cominciare da quelli del corpo: le nostre facce, la nostra pelle, il colore dei capelli, derivano da questi intrecci, e sono all'origine di quelle che noi chiamiamo razze.

Cominciamo quindi a esplorare il nostro passato di uomini e a chiederci: fin dove possiamo spingerci all'indietro nell'albero genealogico?

È evidente che, anche se non ne possediamo i ritratti, tutti noi abbiamo avuto degli antenati vissuti nel Rinascimento, nel Medioevo, al tempo dei Romani, o all'epoca delle caverne. Purtroppo si è persa la traccia di questa lunghissima ascendenza, ma la genetica moderna comincia a raccontarci alcune cose sorprendenti sul nostro lontano passato.

Facciamo intanto un po' di conti, su questi antenati.

Ogni bambino che nasce ha naturalmente 2 genitori, i quali hanno avuto a loro volta 2 genitori. Quindi ognuno di noi ha avuto necessariamente 4 nonni, 8 bisnonni, 16 trisavoli, 32 quadrisavoli ecc. Risalendo all'indietro nel tempo in questo modo si arriva rapidamente a cifre astronomiche. Contando solo 3 generazioni per secolo, già al Rinascimento si arriva a

Gli antenati diretti di ogni individuo (2 genitori, 4 nonni, 8 bisnonni ecc.) sono così numerosi che se si andasse indietro fino all'età del bronzo occuperebbero una superficie superiore a quella della Galassia!

oltre 30.000 antenati; all'epoca delle crociate si arriva a un miliardo di antenati, al tempo dei Romani a un milione di miliardi di antenati. Se si va ancora più indietro, all'età del bronzo, si arriva addirittura a un milione di miliardi, di miliardi, di miliardi, di miliardi, di miliardi di antenati.

Messi a contatto di gomito essi occuperebbero una superficie superiore a quella dell'intera Galassia. Andando ancora indietro fino all'epoca delle caverne, non basterebbe l'intero universo per contenerli tutti, questi nostri ipotetici antenati. E questo, badate bene, *per ognuno degli abitanti della Terra.*

Cosa significa tutto ciò?

Significa ovviamente che c'è qualcosa di sbagliato in questo conto, perché sappiamo oggi che, secondo gli studi fatti dai paleontologi, il numero degli uomini effettivamente vissuti sulla Terra, negli ultimi 600.000 anni, probabilmente non supera in tutto gli 80 miliardi.

La contraddizione è spiegata dal fatto che la maggior parte di questi antenati erano, in realtà, la stessa persona. Cioè gli antenati degli altri individui erano in realtà in larga misura anche i nostri antenati.

In altre parole, siamo tutti parenti.

Anche perché molte linee di discendenza si sono estinte e tutti noi proveniamo perciò da una frazione solamente degli uomini vissuti nel passato. I loro cromosomi sono circolati

nella popolazione umana, incrociandosi e ricongiungendosi in infinite combinazioni diverse.

Naturalmente le parentele sono più strette là dove le popolazioni si sono mosse poco. Per esempio, in un villaggio di montagna, dove per secoli gli abitanti hanno vissuto continuando a sposarsi tra loro, o con gli abitanti dei villaggi vicini, è evidente che si sviluppa una consanguineità molto stretta, e gli antenati comuni sono moltissimi.

Ma siccome in genetica i tempi si contano non in secoli, ma in millenni, se non addirittura in milioni d'anni, se si va abbastanza indietro nel tempo si trovano consanguineità ben più vaste e intricate, che finiscono per coinvolgere tutti.

Alcuni biologi hanno infatti cominciato a fare gli « archeologi dei cromosomi », per così dire, cercando appunto nei gruppi sanguigni di oggi le tracce di antiche parentele.

E ne hanno già trovate molte.

Gli Unni nei cromosomi

Nei nostri cromosomi per esempio esistono precise tracce del passaggio degli Unni, degli Slavi, dei Tartari, dei Vichinghi, o anche di popolazioni venute dal Medio Oriente circa seimila anni fa. I singoli geni che determinano i vari caratteri (dalla forma del naso a quella degli occhi, dalla calvizie alla dentatura, dalle sopracciglia alla bocca, dalla lunghezza dei piedi alla pelosità) sono circolati in continuazione nei cromosomi degli individui.

Insomma, un bel cocktail, che si è rimescolato a ogni generazione in combinazioni sempre diverse.

Ciò è vero, naturalmente, per ogni paese e per ogni popolazione, perché la storia dell'umanità è stata un susseguirsi di migrazioni, di invasioni, di spostamenti, di incroci.

Del resto molti antropologi ritengono che tutta la specie umana abbia avuto un'origine comune, probabilmente in Africa. E che di là, con continue migrazioni, i primi uomini si siano diffusi ovunque. Pochi nuclei familiari, migrando in al-

tre terre, hanno spesso dato origine a vaste popolazioni. Alcuni nostri antichi parenti attraversarono un giorno a piedi lo stretto di Bering, che era ghiacciato, diffondendosi anche nelle Americhe.

Per tutte queste ragioni molti biologi sostengono oggi che non ha molto senso, dal punto di vista genetico, parlare di razze: la razza umana, in realtà, è una sola.

Al limite si può parlare di 4 miliardi di razze umane, nel senso che ognuno dei 4 miliardi di abitanti della Terra rappresenta una formula genetica a sé stante, diversa da tutte le altre.

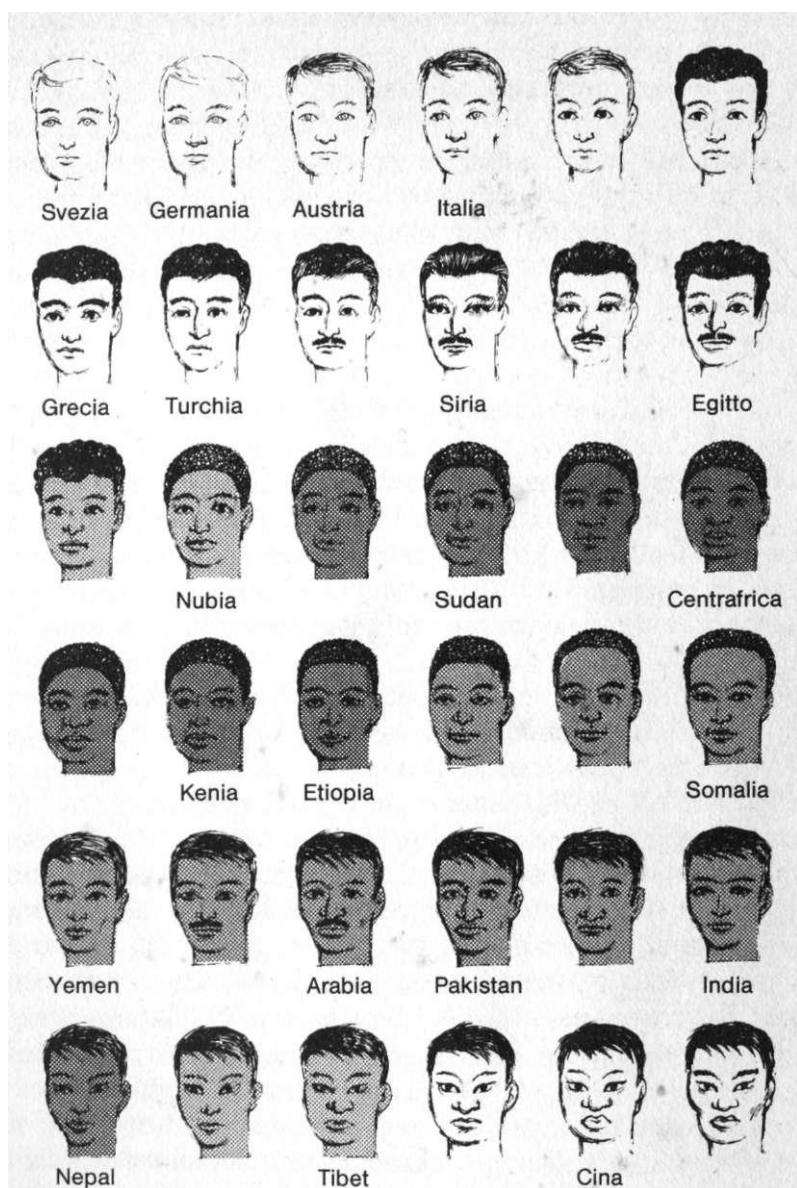
Noi naturalmente vediamo certe differenze tra i gruppi umani (neri, bianchi, gialli, pellirossa) perché ci basiamo su alcune caratteristiche appariscenti, come il colore della pelle, o la forma del naso o degli occhi. Si tratta però di caratteristiche regolate da pochissimi geni.

Se ci basassimo su altre differenze genetiche, come per esempio l'altezza, avremmo dei raggruppamenti del tutto diversi.

E così se ci basassimo sulla calvizie, oppure sulla robustezza, oppure anche su certe capacità mentali individuali, come per esempio i talenti artistici ecc.

Che sia difficile individuare delle razze del resto lo mostra un piccolo esperimento, che vi proponiamo nell'illustrazione qui a lato. Partendo dalla Svezia, andando sino in Africa e poi in Cina, si può assistere a una continuità anche nei caratteri somatici dell'uomo.

Se si scattasse infatti una fotografia ogni 50 km, si vedrebbe più o meno quello che noi abbiamo cercato di riassumere nell'identikit riprodotto nella pagina seguente: cioè che l'uomo cambia non per grandi salti ma per piccoli ritocchi.

Ognuno può divertirsi a ricombinare questi tratti somatici, e può rendersi facilmente conto che tutte le fisionomie degli abitanti del pianeta vengono appunto fuori per piccoli ritocchi successivi. Partendo da qualunque punto nel mondo, andando in qualunque altro punto, si può assistere a questa sorprendente continuità della specie umana.

Un ipotetico viaggio tra le fisionomie dimostra che i tipi umani cambiano volta a volta tra loro solo per piccoli ritocchi.

Il rimescolamento dei cromosomi, avvenuto lentamente nel passato, tende ora a diventare assai più rapido sia all'interno di ogni paese che tra un paese e l'altro.

Gli spostamenti, i contatti più frequenti, lo sviluppo tecnologico e anche culturale favoriscono questa circolazione, creando le premesse per successivi rimescolamenti.

In fondo si può dire che noi siamo, a nostra volta, gli antichi antenati di una lunga evoluzione umana che non è ancora finita.

Il dottor Jekyll e mister Hyde

Questo breve viaggio tra i nostri antenati e i nostri parenti-uomini di tutto il mondo mostra come il nostro patrimonio genetico sia il frutto di un rimescolamento continuo di geni, che si ricompongono in ogni individuo come lettere di un alfabeto per formare ogni volta parole diverse e frasi diverse.

Dicevamo all'inizio che molti di questi geni li abbiamo in comune (o quasi) con i nostri parenti-alberi o parenti-batteri. L'origine comune della vita, infatti, fa sì che tutte le specie viventi abbiano, in misura diversa, un certo grado di parentela.

L'uomo, quindi, porta al suo interno non soltanto una notevole percentuale di geni in comune con il resto dell'umanità, ma anche in una certa misura con il resto del mondo vivente. L'evoluzione ha modificato ovviamente pian piano le cose, ma una traccia del nostro passato noi la conserviamo non soltanto nel corpo ma anche nel nostro cervello.

Spesso si sente parlare dei « tre cervelli » che l'uomo possiederebbe nella sua scatola cranica: sotto l'involucro della corteccia cerebrale (tipicamente umana) si trovano infatti sistemi molto più antichi, dal punto di vista evolutivo. Cioè zone del cervello che furono le prime a svilupparsi nel corso dell'evoluzione: per questo si parla del cervello del rettile (dove hanno sede tra l'altro i centri che presiedono alle risposte automatiche di sopravvivenza) e quello dell'antico mammife-

ro (dove si organizzano, tra l'altro, le emozioni primordiali). Da molto tempo si cerca di capire come queste due zone antiche influenzino il comportamento, attraverso la loro azione sulla corteccia, dove hanno sede i centri che presiedono alle attività tipicamente umane: apprendimento, astrazione, associazione, memorizzazione, elaborazione ecc.

Il cervello, infatti, è un « pacchetto » che non può essere separato in tanti elementi autonomi: tutto è collegato e interagisce. È quindi evidente che gli istinti e le antiche risposte di sopravvivenza sono sempre presenti ogni volta che noi pensiamo o prendiamo una decisione o agiamo.

Se si volesse usare un paragone un po' fantasioso si potrebbe dire che il cervello è come una lanterna magica, e che il comportamento è la proiezione di tutte queste cose, che si influenzano e che si sovrappongono.

In altre parole nel nostro cervello coabitano, per così dire, gli istinti (che sono regolati dai cromosomi e che tendono quindi a farci reagire in modo automatico, « istintivo », appunto) e l'educazione, l'apprendimento, che tende invece a inserire nei comportamenti tutte quelle cose che abbiamo imparato con l'esperienza, con lo studio, con l'educazione familiare.

Usando un'immagine che ha avuto fortuna letteraria, potremmo dire che dentro di noi coabitano due diversi personaggi: il dottor Jekyll e mister Hyde. Già nel romanzo e poi nel film, il problema veniva simbolicamente posto: il dottor Jekyll e mister Hyde sono la stessa persona? O sono due persone diverse che coabitano dentro lo stesso involucro?

Le due grandi forze

Forse, in realtà, le cose sono un po' più complicate, dal momento che ogni individuo si può trasformare in una serie di personaggi diversi a seconda delle circostanze.

Il comportamento umano, infatti, è una delle cose più complesse da studiare, ma forse l'allegoria del dottor Jekyll e mi-

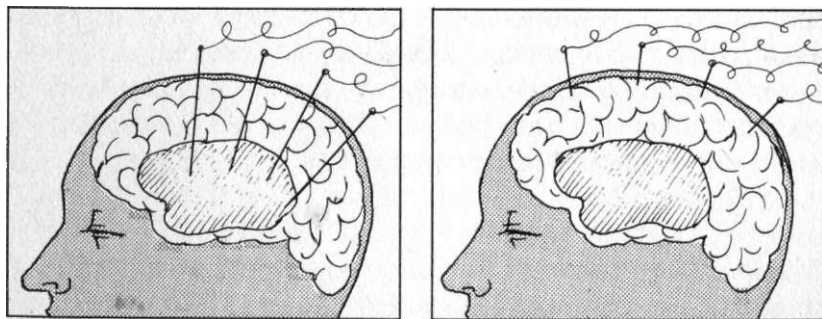
ster Hyde può aiutarci a entrare meglio all'interno del cervello umano per capire le due grandi forze che regolano il comportamento: gli istinti e l'educazione. O, se preferite, l'eredità e l'ambiente.

Il cervello è fatto di tante parti, con funzioni assai complesse che ancora non si conoscono bene, ma sostanzialmente si è scoperto che nella parte più interna esistono effettivamente delle zone precise che corrispondono a una serie di istinti primordiali: per esempio fame, sesso, aggressività, sonno.

Se si stimolano queste zone si ottengono reazioni automatiche in un individuo.

Molti esperimenti sono stati fatti con animali e con esseri umani. Si è provato a infilare sottilissimi aghi in queste varie zone del cervello, inviando piccole scariche elettriche, e si è visto che è possibile suscitare istinti e sensazioni di vario tipo: sete, sonno, eccitazione, ansia, sessualità, nausea, piacere.

Naturalmente noi, per fortuna, non viviamo con degli elettrodi nel cervello: ma queste zone cerebrali vengono comunque raggiunte da certe stimolazioni elettrochimiche. Sono quelle che provengono dalle cellule nervose che si trovano in contatto con il mondo esterno: quelle cioè degli occhi, delle orecchie, del naso, della pelle ecc.

Ciò che noi captiamo con i nostri sensi, con la vista, con l'udito o con l'odorato, si irradia nella rete nervosa e va quindi

Infilando sottilissimi aghi nelle zone antiche del cervello si possono stimolare automaticamente reazioni istintive: sete, sonno, fame, sesso, ansia ecc. Eccitando invece le zone della corteccia è possibile evocare ricordi di immagini e di suoni. Cioè evocare cose non istintive, ma imparate, frutto dell'educazione.

a raggiungere anche queste zone primitive; che scattano come relais.

In continuazione, nella vita, noi siamo bombardati da immagini, suoni, odori, che vengono a stimolarci le zone in cui hanno sede gli istinti e le emozioni primitive, e provocano in noi appunto reazioni istintive.

Se paradossalmente il nostro cervello fosse composto soltanto da queste zone primordiali, noi ci comporteremmo in modo praticamente automatico.

E infatti, più si scende nella scala zoologica (mammiferi, rettili, insetti ecc.) più il cervello si riduce di volume relativo e più si ritrovano comportamenti semplicemente istintivi.

Salendo nella scala zoologica, invece, il volume della corteccia aumenta. Nel cervello umano questa zona è estremamente sviluppata. Cosa c'è dentro?

Ebbene, anche nella corteccia, si è provato a impiantare sottilissimi aghi e a inviare piccole scariche. E si è visto che è possibile evocare addirittura ricordi di immagini o di suoni.

La corteccia è infatti l'area delle memorie, cioè dove si accumulano le nostre esperienze, le cose imparate: in sostanza, l'educazione.

Semplificando molto le cose si potrebbe quindi dire che quando uno stimolo proviene dall'esterno, esso raggiunge sia la zona degli istinti che quella della corteccia. Gli istinti tendono a reagire automaticamente. La corteccia invece analizza e confronta questo stimolo con precedenti esperienze; e per associazione ciò può evocare ricordi del passato.

Dall'azione combinata di queste due attività nasce così il comportamento: esso è, per così dire, il « negoziato » tra gli istinti e le memorie lasciate impresse dall'educazione.

Il cavallo e il cavaliere

La cosa importante da notare è che queste due zone del cervello non sono nemiche, ma alleate: ognuna infatti offre qualcosa all'altra. Sono come il cavallo e il cavaliere, ha detto

acutamente un biologo: il cavallo fornisce la sua potenza, il cavaliere la sua conoscenza. Insieme possono andare lontano.

Può accadere a volte che il cavallo imbizzisca e disarcioni il cavaliere. Allora gli istinti prevalgono e dirompono. Sta al cavaliere (cioè all'educazione) riuscire a dominare il cavallo, reggendosi bene in sella e utilizzando le sue risorse.

Il rapporto tra il dottor Jekyll e mister Hyde è forse proprio di questo tipo: l'educato dottor Jekyll in un certo senso utilizza le energie e le pulsioni di mister Hyde, dirigendole però nella direzione da lui scelta. E soffocando le reazioni troppo emotive.

Può accadere che ci sia conflitto tra due comportamenti, e che il negoziato sia a volte difficile. Ma quando l'alleanza trova il giusto equilibrio, la spinta emotiva che proviene dall'interno permette all'inventiva e anche alla creatività di esprimersi.

Nel corso della storia, infatti, l'istinto di sopravvivenza ha continuamente pungolato la ricerca di soluzioni adeguate, di adattamenti, di scoperte.

La corteccia, dal canto suo, attraverso il linguaggio e l'intelligenza ha trasferito sul piano astratto l'interpretazione dei segnali e dei simboli.

Una sola frase o una sola parola possono, per esempio, far scattare un comportamento di lotta, oppure di fuga.

Questo continuo scambio di informazioni e stimoli tra le varie aree cerebrali crea un fittissimo intreccio di reazioni istintive e di elaborazioni mentali. E diventa spesso difficile stabilire, nel comportamento, ciò che è innato e ciò che invece deriva dall'esperienza.

Il funzionamento del cervello, naturalmente, è assai più complesso di quanto possono suggerirci queste semplici osservazioni sulla corteccia e sul cervello antico. E ci sono ancora molte cose che non conosciamo.

Ma sembra oggi sempre più plausibile l'idea che è proprio nel rapporto tra queste diverse zone cerebrali che vanno ricercate alcune delle basi del nostro comportamento.

E anche delle nostre contraddizioni.

Questa ricerca della base biologica del comportamento è di estremo interesse, perché ci consente di osservare con un occhio diverso tanti comportamenti umani (e animali) cercando delle nuove chiavi di lettura.

Si potrebbero fare vari esempi, ma noi ci soffermeremo su uno in particolare, che durante i secoli è stato vissuto (e spesso sofferto) da una grande quantità di uomini e di donne: la gelosia.

Esser gelosi (e comportarsi in modo aggressivo verso gli altri per difendere il proprio « territorio » anche da questo punto di vista) è qualcosa di molto antico. Lo studio dell'etologia mostra, anzi, che si tratta di un comportamento molto diffuso anche nel regno animale.

Si può, allo stato attuale delle conoscenze, ipotizzare che vi siano ragioni non soltanto culturali, ambientali, ma anche *biologiche* a far scattare i comportamenti tipici della gelosia? E che quindi la parte antica del nostro cervello, regolata più direttamente da risposte istintive, sia in buona misura responsabile di questo sentimento che ha tanto ispirato scrittori, romanzieri, poeti, e che è al centro di tante opere liriche, poesie, tragedie, e anche farse?

Sappiamo che il nostro patrimonio genetico racchiude potenzialmente tutte le nostre risposte istintive. E questa struttura infatti, come dicevamo prima, che determina la forma e le funzioni di tutte le nostre cellule (anche di quelle del cervello), e ci predispone ai comportamenti innati.

Naturalmente sarebbe ben difficile trovare la gelosia iscritta come tale nei nostri geni: tuttavia si può formulare l'ipotesi che essa possa nascere in parte proprio da certe esigenze di base della nostra storia genetica.

Vediamo ciò che accade in natura. In natura ogni essere vivente lotta, corre, mangia, attacca, fugge, per sopravvivere. Il suo scopo essenziale è quello di sfuggire alla morte e all'estinzione.

Purtroppo, però, a un certo punto, la morte arriva sempre,

anche per i più forti. La lotta non serve più a niente. Il solo modo per sopravvivere è quello di replicarsi. Cioè fare in modo che almeno una parte delle proprie cellule continui a vivere, organizzandosi in un nuovo individuo.

È la sopravvivenza, per così dire, per delega, attraverso la riproduzione.

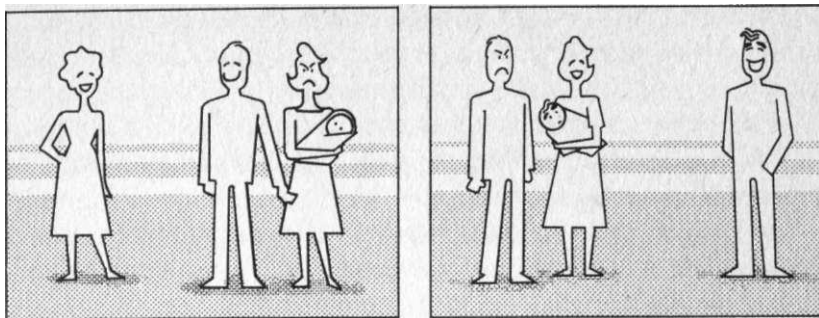
I propri geni non moriranno del tutto ma, ricombinandosi nella riproduzione sessuale, continueranno così a operare e a perpetuarsi attraverso un altro organismo.

Naturalmente nessun animale ha mai studiato genetica per sapere queste cose: ma certi comportamenti inconsapevoli sono stati favoriti dalla selezione naturale. Infatti gli individui che più lottavano per riprodursi riuscivano più degli altri a tramandare i loro geni, tramandando quindi anche i loro comportamenti istintivi: per esempio l'istinto della difesa del diritto esclusivo del territorio e dell'accoppiamento.

Si può ipotizzare che nascano qui, indirettamente, certe basi biologiche della gelosia?

I rischi dell'infedeltà

Effettivamente bisogna riconoscere che, nel rapporto di coppia, per la femmina il problema dell'« esclusività » (o, se vogliamo, della fedeltà) del maschio è certamente molto importante, perché il maschio deve starle vicino e assicurarle il suo aiuto, in particolare nell'allevamento della prole. Esiste quindi probabilmente nella femmina il bisogno istintivo di un rapporto stabile, un rapporto che non venga turbato da fughe o abbandoni. Si può anche ipotizzare che le femmine che avevano questo comportamento istintivo (e sapevano meglio selezionare il maschio in funzione della sua stabilità nel rapporto) sono state favorite dalla selezione naturale, perché hanno potuto far sopravvivere meglio la loro prole (e tramandare anche nella discendenza questo tipo di atteggiamento).

Ma per il maschio il problema della « esclusività » è ancor più importante. Infatti nella riproduzione sessuale egli è espo-

La gelosia esiste in moltissime specie animali che vivono in gruppo. Per la femmina, alla base, esiste forse un bisogno istintivo di rapporto stabile. Per l'uomo c'è forse alla base il timore istintivo di essere derubato della propria sopravvivenza nella prole. Perché in caso di adulterio non sarebbero i suoi geni a replicarsi, ma quelli di un altro.

sto a un grave rischio: quello cioè che il figlio possa essere non suo. Cioè un altro maschio, nascostamente, avrebbe potuto sostituirsi a lui ed essere il vero padre.

In tal caso sarebbero i geni di quest'altro individuo a replicarsi, e non i suoi, privandolo così della sopravvivenza nella discendenza. Mentre per la femmina la certezza di essere la vera madre è sempre assicurata (come dicevano i Romani: « Mater semper certa »).

Questa situazione ha fatto sì che il maschio, in moltissime specie, abbia sviluppato per selezione una serie di comportamenti istintivi di tipo territoriale, che in pratica diminuiscono (sia pure inconsapevolmente) un tale rischio.

Negli uccelli, per esempio, la difesa del nido è una regola. E talune specie, come i colombi, sono particolarmente aggressive nella tutela della femmina contro gli altri maschi.

I leoni marini difendono con ancor più accanimento il loro harem (composto a volte da varie decine di femmine). Nella stagione degli amori addirittura ogni maschio dominante non mangia e non beve più, per non allontanarsi dal suo harem, e lotta spesso ferocemente con gli altri spasimanti. Alla fine è pieno di ferite e di cicatrici: ma i suoi geni si sono replicati molte volte.

Il maschio di amadriade non aspetta neppure che eventuali

spasimanti si avvicinino: appena una delle sue femmine si allontana, la raggiunge e la attacca facendola rientrare nei ranghi.

Tra i babbuini la strategia è ancora diversa. Poiché le femmine sono feconde solo in certi periodi dell'anno (quelli dell'estro), i maschi dominanti non si curano se durante i periodi intermedi le femmine del loro harem «scherzano» con altri giovani. Ma quando è il momento dell'estro, più nessuno può avvicinarsi. La reazione territoriale scatta automaticamente nel momento della riproduzione.

Un ultimo esempio: quello del siàlia, un uccello simile a un picchio. Sono stati fatti degli esperimenti. Se, durante una sua assenza, viene messo nel nido un altro maschio, al suo ritorno non soltanto egli attacca violentemente l'intruso, ma se la prende anche con la femmina. E la caccia via.

Possiamo chiamare gelosia tutto ciò? Forse si potrebbe chiamare semplicemente territorialità sessuale. Ma ciò non toglie che certi comportamenti siano molto simili a quelli tipici della gelosia umana, anche se bisogna essere sempre molto prudenti nelle estrapolazioni.

La segregazione femminile

La segregazione femminile, per esempio, largamente praticata in molte società, sembra proprio rispondere a un atteggiamento di difesa del territorio. O di possesso, come dicono alcuni antropologi. Anche il velo sembra avere una funzione analoga: cioè di protezione contro i desideri altrui (moltissime donne sono ancora oggi velate, nel mondo).

In certe società del passato, come è noto, i mariti a volte adottavano addirittura la cintura di castità. In varie zone del mondo esiste ancora una pratica simile: cioè la chiusura del corpo femminile con spine vegetali.

Anche nelle società umane, del resto, esistono gli harem. Ed esiste ancora la poligamia. Cioè i maschi più dominanti, o più ricchi, tendono in questo modo a riprodursi maggiormen-

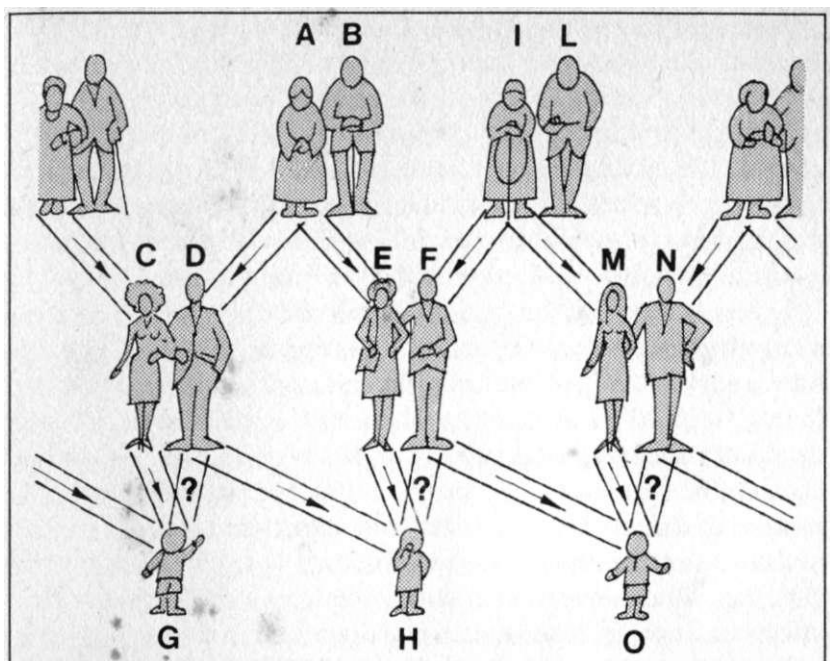
te. E anche, nelle società umane, sono sempre state richieste alla donna illibatezza e fedeltà come virtù essenziali per il matrimonio.

È vero che esistono piccole minoranze umane che praticano costumi apparentemente contraddittori, come certi gruppi dell'India e del Tibet che praticano la poliandria, cioè vari fratelli che sposano la stessa donna: oppure certi eschimesi, isolati nel Nord, che sono ospitali al di là di ogni limite, offrendo la propria sposa al visitatore.

Esistono però varie ipotesi, per spiegare queste varie usanze: in ogni caso si tratta di *scelte deliberate,* cioè di scelte considerate convenienti dai vari interessati, e non di appropriazione indebita del loro territorio da parte di altri, cioè di intrusi.

All'estremo opposto, del resto, esistono società in cui addirittura un padre lascia l'eredità non al figlio (che potrebbe essere non suo), ma al figlio della sorella che è certamente suo consanguineo. È la cosiddetta successione matrilineare, che insegue la sicurezza della trasmissione genetica. Infatti, poiché « mater semper certa », fratello e sorella sono sempre consanguinei, e così il figlio della sorella: mentre il proprio figlio potrebbe essere teoricamente figlio di altro padre.

Naturalmente la cultura, le tradizioni, le morali, hanno avuto e hanno un ruolo determinante nello sviluppo umano, influenzando profondamente i comportamenti emotivi, gelosia compresa. Certe costruzioni culturali sono diventate così ramificate da esser forse ormai prevalenti, determinando così la complessa psicologia umana dei sentimenti, dell'amore e dell'innamoramento. E certe gelosie (o non gelosie) sembrano quasi regolate soltanto da altre motivazioni. L'uomo, insomma, è ovviamente un essere ben diverso.

Ma dentro di noi, forse, è ancora rimasta quella tendenza antica e *inconsapevole* a difendere l'esclusività del territorio e con essa la sopravvivenza del nostro patrimonio genetico. Anche quando, come avviene oggi, la riproduzione non è più un problema così centrale, o addirittura non è neppure più desiderata.

Schema di successione matrilineare. Poiché la madre è sempre certa, De Esono certamente figli di A. Quindi H è certamente parente stretto di D. Mentre D non sa se suo figlio (G) è in realtà suo figlio. La sua eredità va quindi a H, che è sicuramente portatore (almeno in parte) dei suoi cromosomi. Mentre i beni di F, parallelamente, andranno a O, figlio della sorella.

Possiamo allora chiederci: sono forse queste antiche corde che entrano in vibrazione quando ci immedesimiamo in certe situazioni e in certi drammi?

I comportamenti innati

Questo ruolo attivo del patrimonio genetico nel comportamento, non si limita naturalmente alla gelosia. Lo stesso discorso fatto finora per questa « territorialità sessuale » vale per moltissimi altri aspetti della personalità.

Ognuno ha un suo temperamento, un suo carattere innato (anche se poi l'ambiente lo può naturalmente plasmare): e

certamente il nostro comportamento è legato a certi « fili » genetici che si fanno sentire direttamente o indirettamente in tutto quello che facciamo. Non è quindi possibile eliminare questa parte istintiva, perché per eliminarla bisognerebbe tagliar via una parte del cervello e quindi uccidere un uomo (ma anche ammesso che si isolassero le zone istintive ed emotive del cervello, cosa rimarrebbe? Una corteccia senza più motivazione e spinte: cioè un calcolatore biologico demotivato).

D'altra parte non bisogna neppure dimenticare che la zona più nobile del nostro cervello, la corteccia, ha anch'essa una base genetica, ed è il risultato di una lunga selezione naturale. Infatti il tipo di neuroni, di connessioni, il numero di cellule e il volume stesso del cervello sono il frutto di una evoluzione che ha favorito via via gli individui che avevano una corteccia capace di migliori prestazioni (così come ha favorito gli animali che usavano in modo più efficiente le corna, le zanne o i garretti, dando luogo a pressioni selettive che hanno portato ad animali così differenziati come i cervi, i leoni o le gazzelle).

Possiamo quindi chiederci fino a che punto il nostro comportamento sia frutto dell'eredità genetica, e in quale misura invece l'educazione e l'ambiente in cui un individuo vive possano modificare certe situazioni che provengono da una lotteria ereditaria.

Da tempo esiste un dibattito (spesso molto acceso) su cosa sia innato e su cosa sia acquisito dopo la nascita.

Tutti i ricercatori, ovviamente, sono d'accordo sul fatto che entrambe le cose sono molto importanti, sia l'eredità che l'ambiente: questi due aspetti infatti non sono separabili, ma agiscono contemporaneamente in ogni individuo, sovrapponendosi e intrecciandosi. I guai cominciano quando si tratta di definire qual è il dosaggio dei due fattori.

Eredità o ambiente?

Il pendolo tra « ambientalisti » e « innatisti » ha oscillato spesso. Tuttavia, un tempo si pensava che l'individuo fosse

bello o brutto, alto o basso, intelligente o stupido, onesto o delinquente, soprattutto perché nasceva già con queste caratteristiche, così come si nasce stonati o intonati.

L'ambiente poteva correggere le cose, ma non molto: la natura individuale dominava. In altre parole erano i cromosomi a essere determinanti: vale a dire il patrimonio genetico che uno si ritrovava alla nascita, per eredità, dai genitori.

Poi invece (grazie, in particolare, agli studi di psicologia sperimentale e di neurofisiologia) si scoprì quanto era fondamentale l'ambiente, specialmente nei primi anni di vita, per la crescita individuale: per esempio per sviluppare l'attenzione, l'astrazione, il linguaggio. E si potè verificare molto bene tutto ciò in bambini cresciuti in ambienti di diverso livello culturale.

Si vide che persino la statura poteva subire notevoli variazioni a seconda dell'alimentazione ricevuta nell'infanzia.

Esperimenti fatti nel Guatemala mostrarono che mettendo semplicemente nella zuppa qualche cereale più ricco in proteine si ottenevano sbalzi addirittura di 10 centimetri.

Ci si rese conto, sempre di più, che anche un fenomeno come la delinquenza era in larga misura il risultato dell'ambiente.

Si vide poi quanto l'ambiente poteva influire sullo sviluppo mentale e sull'intelligenza.

Lo stesso bambino poteva teoricamente diventare un bambino-lupo, se abbandonato nella foresta, o un intellettuale, se allevato invece nelle migliori scuole.

In base a queste ricerche si mostrò quale ruolo fondamentale svolgeva l'ambiente nel determinare lo sviluppo individuale e quindi anche nell'influenzare i destini individuali.

Allora: eredità? o ambiente?

La realtà è che, naturalmente, il loro rispettivo dosaggio varia a seconda delle situazioni, e diventa quindi assai difficile distinguere ciò che è davvero innato e ciò che invece è frutto dell'influenza ambientale.

Oggi, con i progressi fatti nel campo della genetica, si tenta un approccio nuovo, per cercare di capire qual è veramente la

parte innata del comportamento: cioè si tenta di studiare direttamente il funzionamento del patrimonio genetico. Ecco la strada che si segue.

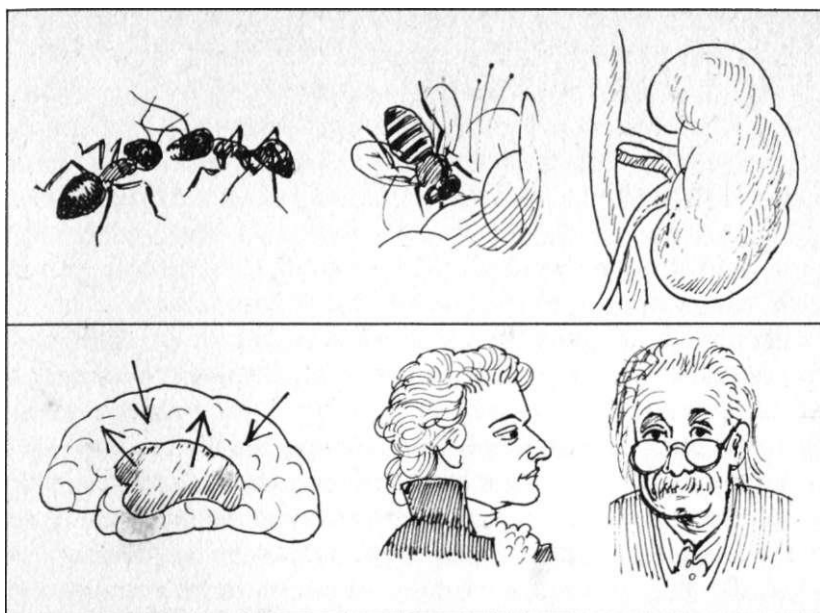
Il ruolo dei geni

Ogni cellula del nostro corpo, come si sa, contiene un nucleo dove si trovano i cromosomi. I cromosomi sono formati, in pratica, da un lungo filamento di **DNA**, la famosa struttura a doppia elica. I segmenti di questa struttura sono chiamati geni. Sappiamo che i geni regolano non soltanto la produzione delle proteine, destinate alla costruzione cellulare, ma presiedono anche alla produzione di tutti i materiali che agiscono nel nostro corpo. Attraverso l'azione combinata di questi geni nascono così le strutture che formano il nostro organismo. Esse funzionano in base al continuo flusso di informazioni e di materiali regolati, appunto, dai geni.

Un esempio: il cuore. Il cuore non ha avuto bisogno di alcun apprendimento per imparare a battere. Il suo battito è frutto dell'azione dei geni. Così il rene: il rene compie funzioni molto complesse senza che mai nessuno gli abbia insegnato come fare. E così il fegato, l'intestino, lo stomaco.

In quale misura ciò vale anche per il comportamento? Negli animali più semplici, come gli insetti, si sa oggi che il comportamento (a volte molto complicato) è regolato quasi completamente dai geni. Si ritiene per esempio che le termiti o le api organizzino la loro complessa attività sociale in modo sostanzialmente istintivo, cioè genetico. Così come fa un rene, in un certo senso.

Si sono recentemente compiuti studi di grande interesse sul moscerino dell'aceto, la drosofila, e si è visto che se si interveniva sui suoi geni, modificandoli a caso mediante l'azione di sostanze mutagene, si osservavano poi nei figli e nei nipoti vari tipi di anomalie, fra cui alcune anomalie di comportamento.

Per esempio questi insetti non erano più attirati dalla luce,

Gli insetti organizzano la loro attività sociale e i loro comportamenti (spesso molto complessi) in base a un programma genetico automatico. Anche i nostri reni svolgono la loro attività (molto complessa) in base a un programma genetico automatico. E così il cuore, il fegato, lo stomaco. E il cervello?
Nel cervello esite una parte (il paleoencefalo) che funziona in modo automatico e istintivo. La neocorteccia che lo avvolge invece immagazzina le esperienze ambientali ed è sede dell'educazione; ma è anch'essa il frutto di una struttura genetica. Per esempio un genio, Mozart, che già a tre anni componeva musica, non può essere ovviamente solo il frutto dell'educazione: la sua corteccia possedeva talenti innati di tipo genetico. Tuttavia la struttura cerebrale che un individuo ha alla nascita (geniale oppure no) ha bisogno dell'ambiente adatto per svilupparsi. Altrimenti anche Einstein sarebbe rimasto un bambino-lupo, se fosse stato abbandonato in una foresta.

o non sapevano più volare, o diventavano incapaci di apprendere, o diventavano bisessuali, o omosessuali.

Del resto anche semplici osservazioni su animali domestici ci mostrano che essi pure presentano comportamenti genetici, cioè comportamenti che non sono dovuti all'apprendimento. Per esempio un gatto, anche se non ha mai visto un topo, lo riconosce subito come una sua preda. E pur non avendo mai visto un cane lo sa riconoscere subito come un suo nemico.

Una scimmia che non ha mai visto il fuoco si avvicina alla fiamma senza paura: ma se incontra un serpente lo riconosce subito come un nemico, anche se non lo ha mai visto prima.

Osservazioni ancora più interessanti sono state fatte da un etologo tedesco, Eibl-Eibesfeldt, su uno scoiattolo allevato in casa: se gli si davano delle noci, cercava di sotterrarle ai piedi di una gamba del tavolo, ripetendo istintivamente quello che gli scoiattoli fanno ai piedi degli alberi pur senza averlo mai visto fare da alcuno.

Certi ricercatori, studiando i cromosomi dei topi, ritengono ora di aver localizzato geni responsabili di alcuni comportamenti. Per esempio hanno scoperto che i topi che posseggono un certo gene imparano più rapidamente degli altri come evitare una scossa elettrica. Cioè mostrano più attitudine all'apprendimento.

E l'uomo? Ebbene, sappiamo da tempo che nell'uomo, per esempio, l'eccitabilità è regolata in buona parte dalle ghiandole surrenali, dall'adrenalina, e sappiamo come gli ormoni (che sono regolati anch'essi dai geni) intervengano continuamente nel comportamento.

Del resto, basta osservare dei fratelli che vivono nella stessa famiglia: pur avendo ricevuto la stessa educazione, essi appaiono spesso assai diversi gli uni dagli altri. E non solo per temperamento, ma anche in talenti e inclinazioni.

Anche i talenti, allora, possono essere regolati da questi processi genetici? Be', certamente il fatto che Mozart a tre anni componesse musica non può essere attribuito alla sola educazione familiare. Né che Giotto disegnasse già bene le pecore, o che Pauli scrivesse a 18 anni un trattato fondamentale sulla relatività. Ma questi talenti innati, queste « inclinazioni naturali », come si dice, in quale modo possono essere codificati nel nostro patrimonio genetico?

Per ora non ne sappiamo un gran che. Possiamo solo ipotizzare, per esempio, che se un cervello dispone di cellule ramificate in modo diverso, o di un cocktail biochimico particolare, o di membrane diversamente sensibili, o magari di un certo tipo di sistema circolatorio, è ragionevole pensare che funzio-

ni in modo diverso, nel suo insieme o in certe sue parti. Naturalmente su questa macchina cerebrale agiranno da protagonisti gli stimoli ambientali, che a seconda dei casi potranno esaltare oppure inaridire certe potenzialità. Se vogliamo quindi aiutare lo sviluppo umano, l'unica cosa che oggi possiamo fare è di agire sull'ambiente, poiché solo l'ambiente può essere modificato in modo adeguato, i cromosomi no. Almeno per ora.

Detto questo non possiamo neppure dimenticare che l'ambiente non è tutto, perché esso inter-agisce con il substrato genetico di ogni individuo, sempre diverso e personale.

È un po' come per le fotografie: per avere un buon risultato non basta avere una buona scena intorno a noi e inquadrarla bene: bisogna conoscere anche il tipo di pellicola che si ha in macchina e le caratteristiche dell'emulsione. Proprio per questo gli individui, come sappiamo, non possono essere stampati in serie. Per fortuna.

Questa diversità, del resto, è proprio una delle ricchezze della vita. Sta a noi aiutarla a esprimersi nel modo migliore per ogni individuo.

Lo scimpanzé e l'università

C'è anche un altro mezzo per valutare indirettamente l'importanza della genetica nel comportamento individuale: è lo studio degli animali, in particolare dei primati. Studiando gli animali, infatti, diventa subito molto chiaro che non servirebbe ovviamente a nulla inviare uno scimpanzé nelle migliori scuole e magari persino alla Harvard University: per quanto si migliori l'ambiente e l'educazione non si riuscirà mai ad andare oltre certi limiti.

In altre parole osservando un animale, per quanto evoluto come uno scimpanzé, ci si rende conto dell'importanza del patrimonio genetico per quanto riguarda la capacità di apprendere e di sviluppare abilità mentali.

D'altra parte questi studi rivelano anche un altro aspetto

molto interessante: e cioè che gli animali (e in particolare i primati) dispongono di una insospettata capacità di apprendimento: molto più di quanto si credesse un tempo.

L'antica idea che gli animali non avessero intelligenza ma solo istinto è stata ormai smentita da tutta una serie di esperimenti. Le ricerche in questo campo sono numerosissime e di grande interesse.

Non c'è, del resto, da sorprendersi della notevole capacità di apprendimento che dimostrano certi animali, poiché anch'essi hanno nel loro cervello, per così dire, un « dottor Jekyll » e un « mister Hyde », nel senso che anch'essi dispongono di un paleoencefalo e di una corteccia. La differenza, ovviamente, è che la loro corteccia è molto meno sviluppata, più rudimentale, e non consente di superare certi livelli mentali.

Tuttavia, tenendo presenti questi limiti genetici, anche gli animali riescono a imparare un sacco di cose. Persino a usare attrezzi e strumenti. Secondo recenti ricerche, essi riescono forse anche a esprimere qualche primitiva forma di linguaggio appreso.

Molto spesso si è cercato di stabilire dei confini tra l'uomo e gli animali più intelligenti. Vale la pena di tentare di esplorare un po' meglio questa frontiera, seguendo le osservazioni che gli etologi e gli psicologi del comportamento hanno pazientemente compiuto in questi anni.

L'apprendimento animale

(di Danilo Mainardi e Marco Visalberghi)

All'uomo è sempre stato molto a cuore definire se stesso rispetto agli altri esseri viventi, o, per meglio dire, riuscire a tracciare dei confini precisi e inequivocabili tra sé e le altre creature dell'universo. In questi ultimi tempi però i confini si sono fatti sempre più incerti: si è visto che l'uomo condivide con gli altri animali una comune origine, e ogni giorno si scoprono negli animali caratteristiche e comportamenti che erano ritenuti essere prerogativa dell'uomo. Così la barriera che

lo divide da loro si assottiglia sempre di più. La scoperta che il corredo cromosomico dell'uomo abbia il 90% dei geni in comune con lo scimpanzé, unita alla notizia di stampa che annunciava un esperimento cinese di ibridazione uomo-scimpanzè, ha scardinato ulteriormente le certezze di indiscussa diversità del passato.

Due caratteristiche che ci possono guidare all'interno di questa problematica, mostrando quanto l'uomo abbia in comune e insieme quanto lo distingua dal resto del regno animale, sono l'uso d'arnesi e il linguaggio.

Usare degli arnesi non è una prerogativa esclusivamente umana, anzi è diffusa anche tra alcuni altri animali ai livelli più diversi della scala evolutiva. Le formiche *Oecophylla* vivono sugli alberi dove costruiscono formicai cucendone insieme le foglie. Si tratta di un lavoro comunitario che impegna questi insetti in ruoli diversi. Una parte delle operaie avvicina e ripiega le foglie fino a farne combaciare i margini, le altre intanto utilizzano stranissimi arnesi come cucitrici, e le saldano insieme. Gli arnesi in questo caso non sono altro che le larve delle formiche stesse che secernono una sostanza incollante.

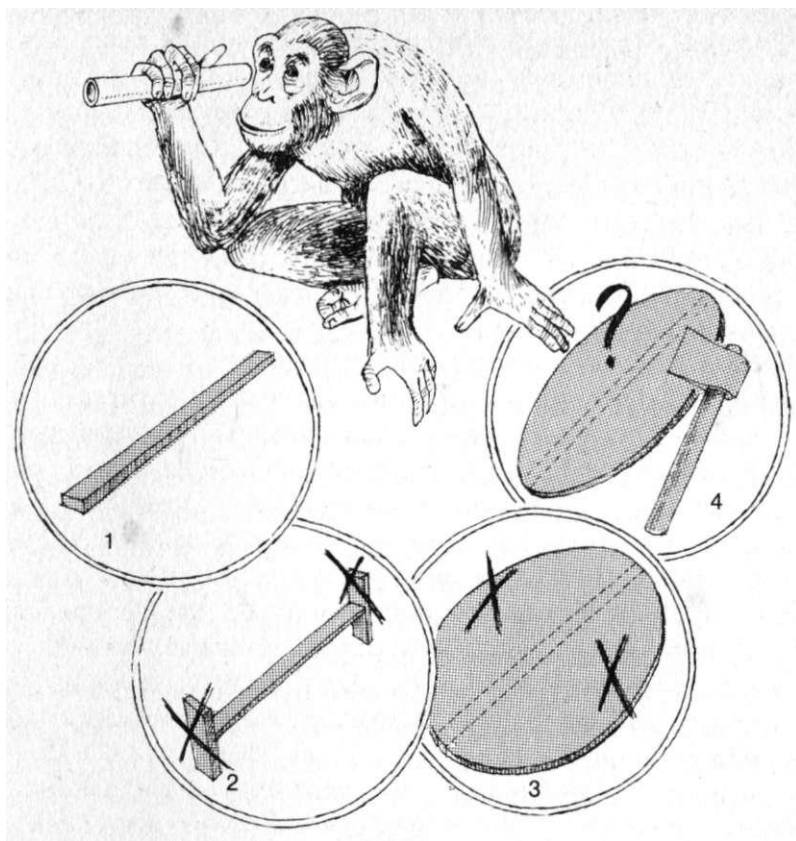
Alcune popolazioni africane di capovaccai mostrano un metodo assai originale per rompere le uova di struzzo. Questi avvoltoi prendono nel becco grossi sassi, e poi con mira ben precisa colpiscono ripetutamente il solido guscio fino a provocarne la rottura. Non tutte le popolazioni di capovaccai conoscono questa tecnica, e per questo gli ornitologi ritengono che essa sia il frutto di una qualche invenzione individuale imitata dagli altri. Ritengono quindi sia un fenomeno di trasmissione culturale.

Il fringuello delle isole Galapagos usa bastoncini e spine di cactus per frugare nelle fenditure e negli interstizi degli alberi, alla ricerca di larve e di insetti. Se pure in modo molto semplice, il fringuello è anche un costruttore, o almeno un modificatore di arnesi, perché, oltre a scegliere scrupolosamente i suoi bastoncini a seconda dell'uso cui sono destinati, è anche in grado di accorciarli per renderli della giusta dimensione.

Un altro esempio tra i più insoliti, e che solo indirettamente può essere considerato come uso di arnesi, è la tecnica elaborata dai gabbiani reali per aprire i gusci dei molluschi tipo le ostriche. Il gabbiano si solleva in volo, e poi lascia cadere il mollusco su di una superficie dura e liscia. Immediatamente dopo scende in picchiata, per controllare se il guscio si è rotto. In caso contrario ripete l'operazione. Le osservazioni fatte dall'etologo americano Beck riferiscono che quanto più vaste sono le zone dure che questi uccelli hanno a disposizione, tanto più in alto si levano prima di scagliare al suolo le loro prede. Se invece la zona è limitata, e c'è il rischio di mancare il bersaglio, volano bassi e ripetono più volte il lancio.

Quando si arriva a osservare i primati, l'uso di arnesi assume caratteristiche più spiccatamente umane. Gli scimpanzé sanno costruire con cassette di frutta delle cataste sufficientemente alte da permettere loro di raggiungere la banana appesa al soffitto. Oppure sanno incastrare insieme vari bastoni fino a costruire un'asta abbastanza lunga da raggiungere il cibo. E ancora, un orangutan è capace di aprire una serie di scatole, ciascuna delle quali contiene la chiave della scatola successiva, fino ad arrivare all'ultima della serie che contiene la banana.

Tutti questi sono esercizi che richiedono una elevatissima capacità intellettuale, immaginazione e fantasia. Ma c'è di più: quando un individuo del gruppo scopre una nuova tecnica, gli altri lo imitano, e in breve tempo l'invenzione del singolo diventa patrimonio del gruppo, con l'esclusione spesso degli anziani, troppo legati agli schemi tradizionali per tentare nuove avventure.

A questo punto è interessante ribaltare la domanda e chiedersi cosa questi animali *non* sanno fare. Un esperimento realizzato all'Accademia delle Scienze di Mosca, con uno scimpanzé di nome Sulta, risponde appunto a questo nostro interrogativo. A Sulta è stato presentato un problema inizialmente di facile soluzione, e cioè: estrarre una leccornia contenuta in un tubo. Per riuscire a raggiungerla l'animale ha a sua disposizione un bastone (un arnese, appunto). Sulta, senza difficoltà,

L'esperimento condotto su Sulta ha dimostrato che uno scimpanzé, per estrarre un oggetto da un tubo, è capace di aiutarsi con un arnese (1) oppure di modificare un arnese non adatto (2) oppure di ricavarne uno da un materiale già predisposto (3), ma non è capace di costruirsi un arnese utilizzando un altro arnese (4)

spinge fuori il cibo e supera la prima fase che potremmo definire « uso di arnese ». La seconda fase prevede ancora il medesimo tubo con dentro il premio, però questa volta l'arnese è fatto a forma di H, ha cioè due piccoli bastoncini alle estremità che gli impediscono di entrare nel tubo. Con alcune difficoltà lo scimpanzé riesce a superare anche la fase della « modificazione di arnese »; riesce cioè a rompere uno dei bastoncini laterali, e a capire che in questo modo può spingere fuori il premio.

La terza fase è ancora più complessa. Il premio è ancora nel solito tubo, ma questa volta la scimmia ha a disposizione un disco di legno il cui diametro è più lungo del tubo, ma di una forma tale da rendere impossibile la sua diretta utilizzazione. Sulta non si dà per vinta, prima prefigura la possibilità di costruire l'arnese, poi, spaccando il disco nel modo giusto, lo fabbrica. Supera così anche la fase della « costruzione di arnese ».

Nell'ultima fase, e qui arriviamo al nostro interrogativo, abbiamo ancora il medesimo tubo con dentro il premio, e ancora un disco di legno come il precedente (di una forma cioè che non dà nessuna idea di quello che può essere l'arnese), così che anche questa volta Sulta deve prefigurarselo. In questo caso, però, il legno è di una consistenza tale che non può essere rotto con la sua sola forza. Viene allora data allo scimpanzé un'ascia a mano: ma l'animale, anche se in un secondo tempo viene messo nella condizione di vedere un uomo che battendo contro il pezzo di legno costruisce l'arnese, non è assolutamente in grado nemmeno di imitarlo.

Così non conosciamo nessun caso in cui un animale sia in grado di usare un arnese per costruirne un altro. Questo sembra essere il limite tra l'animale e l'uomo per quel che riguarda appunto l'uso degli arnesi, almeno fino a prova contraria.

Il linguaggio è stato considerato per molto tempo lo spartiacque più sicuro tra l'uomo e l'animale, fino a quando alcuni anni fa vennero pubblicati i risultati di alcune ricerche di laboratorio eseguite su dei primati a cui era stato insegnato il linguaggio dei sordomuti. In particolare due coniugi, i Gardner, avevano allevato uno scimpanzé di nome Washoe parlando con lui esclusivamente con il linguaggio dei segni. I Gardner ritenevano che tutti gli esperimenti fatti in precedenza per insegnare a parlare alle scimmie fossero falliti perché l'apparato vocale degli scimpanzé è poco adatto a emettere i suoni che compongono la lingua inglese o quella russa, e in particolare questi animali non si divertono affatto a imitare i suoni che sentono emettere intorno a loro. I primati hanno invece delle

spiccate doti imitative e mostrano una straordinaria manualità. Così i Gardner pensarono di risolvere il problema insegnando a Washoe il linguaggio dei sordomuti americani.

I risultati pubblicati alla fine dell'esperimento furono stupefacenti, tanto da scandalizzare ed entusiasmare il mondo della ricerca. Al termine dell'esperimento — riferiscono i Gardner — Washoe conosceva contotrenta segni (parole), che sapeva combinare insieme secondo una grammatica. Era capace di generalizzare l'uso dei simboli, e di padroneggiare concetti astratti. I risultati ottenuti dai coniugi Gardner spinsero molti ricercatori a seguire le loro orme. Uno di questi, Herbert Terrace, passò quattro anni a insegnare al suo scimpanzé, Nim, il linguaggio dei sordomuti. Al termine dell'esperimento, Terrace si rese però conto che Nim non aveva affatto imparato a parlare; aveva imparato soltanto alcuni trucchi per accontentare il suo istruttore e ottenere ciò che voleva.

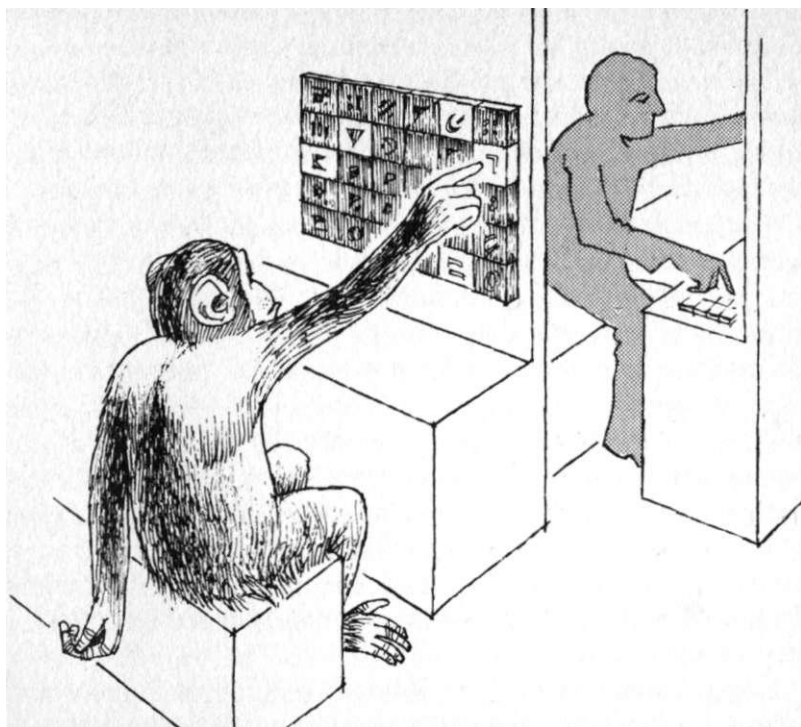
Il trucco più usato, e che meglio funzionava, consisteva nel combinare i segni visti fare all'istruttore con alcuni segni che funzionavano bene in tutte le circostanze, come « io », « avere », « Nim » ecc. Così, se l'insegnante chiedeva « Vuoi abbracciare il gatto? », Nim combinava i segni visti fare, « abbracciare » e « gatto », con « Nim » e « avere ». Ripeteva i segni più volte a grande velocità in ordine sparso. Di fronte a questo show, il ricercatore finiva involontariamente per notare solo i segni giusti, e attribuiva così a Nim una grammatica che Nim non possedeva. Terrace arrivò così a concludere che più del 90% delle frasi composte da Nim erano di questo tipo, e oggi sostiene che anche i documenti filmati realizzati con Washoe e gli altri primati « parlanti » mostrano chiaramente gli stessi vizi di fondo.

Esistono ancora molte cose da chiarire nella discordia che contrappone Terrace ai coniugi Gardner. Inoltre per poter considerare gli scimpanzé capaci di padroneggiare il linguaggio andrebbe comunque dimostrato che questi animali sono in grado di farlo proprio, e trasmetterlo da una generazione all'altra facendone un loro fatto culturale. Vi sono al momento vari esperimenti in corso che si propongono di appurare que-

sto aspetto, ma nessuno ha ancora dato indicazioni chiare in questo senso.

La critica fondamentale di Terrace è che Washoe e Nim non sono capaci di mettere insieme i segni imparati secondo una grammatica. Tuttavia a limitare e forse a smentire questa affermazione troppo categorica c'è un altro esperimento fatto ad Atlanta, la cui protagonista è Lana, anch'essa uno scimpanzé. Lana vive in una grande gabbia, e ha come compagno un computer. Lana pigia i tasti e la macchina provvede a darle da mangiare, da bere, le proietta fotografie ecc. Anche quando comunica con degli esseri umani, le frasi vengono sempre composte sulla tastiera del computer. La lingua (e la grammatica) che Lana usa è stata creata apposta per lei ed è decisamente più semplice di quella umana, ma è anche molto più rigida: non lascia posto agli errori. Basta omettere il punto di fine frase per non essere esauditi.

Il computer offre anche un altro vantaggio; registra tutte le frasi corrette ma anche tutti gli errori commessi, in modo che non siano possibili gli sbagli di interpretazione di cui parla Terrace. Lana usa il calcolatore con una destrezza e una velocità impressionanti, non sembra avere nessun problema nemmeno quando viene invertito l'ordine delle parole, ribaltando così il senso della frase. Per esempio, di fronte alla frase « Tim pulizia Lana », la scimmia offre la schiena per essere spulciata, ma se poi Tim, che è uno dei suoi guardiani, scrive sul calcolatore « Lana pulizia Tim », Lana comincia senza esitazione a spulciarlo.

Prima di concludere questa nostra escursione nel mondo del linguaggio animale, vale la pena ricordare che anche in natura sono stati scoperti dei casi in cui le scimmie usano delle « parole », usano cioè dei suoni ai quali corrisponde un preciso significato. Robert Seyfarth, della Rockefeller University, ha passato molti mesi in Africa studiando i segnali di allarme dei cercopitechi, ed è riuscito a dimostrare che questi animali posseggono tre diversi segnali di allarme: uno quando il pericolo è rappresentato da un serpente, un altro nel caso dell'aquila, e un terzo per il leopardo.

Lo scimpanzé Lana, ad Atlanta, riesce a comunicare con un calcolatore (e anche con lo sperimentatore) attraverso la tastiera. Questi esperimenti sembrano, almeno in parte, rispondere a certe critiche fatte sulla comunicazione tra scimpanzé ed esseri umani.

Nascondendo degli altoparlanti tra i cespugli, e trasmettendo i tre diversi richiami di allarme, si ottengono tre comportamenti assai diversi. Trasmettendo il segnale che significa « attenti al serpente », i cercopitechi si alzano in piedi e cercano preoccupati il rettile tra l'erba alta. Quando invece odono quello per l'aquila, alzano tutti la testa verso l'alto scrutando il cielo. Quando poi il segnale di allarme è invece per il leopardo, le scimmie fuggono precipitosamente a rifugiarsi sugli alberi.

Un altro esempio molto interessante è quello dei macachi giapponesi, scimmie note da tempo per le loro straordinarie

doti di trasmissione culturale. Quando uno di loro scopre qualcosa di nuovo, gli altri lo imitano e si impadroniscono così velocemente della novità. Gli studiosi li hanno visti adattarsi a vivere sulla spiaggia, imparare a lavare le patate dolci, imparare a nuotare e a tuffarsi, e anche a immergersi sott'acqua per pescare. Tutto questo nel giro di poche generazioni.

Studiando il linguaggio di queste scimmie, Steven Green ha scoperto che i macachi sono in grado di creare nuove « parole » per definire situazioni nuove che abbiano per loro grande importanza. È il caso di un gruppo di macachi giapponesi che da qualche tempo riceve delle integrazioni alimentari. Una barca a motore raggiunge periodicamente l'isola sulla quale vivono, e li rifornisce di cibo. Per l'occasione i macachi giapponesi hanno un suono che ha caratteristiche sue proprie, e che usano solo quando il cibo è in arrivo. La cosa interessante è che i vecchi del gruppo, quelli che erano già adulti quando sono arrivati i primi rifornimenti, non sanno pronunciare questa nuova parola, che invece fa parte del repertorio vocale di tutti gli altri individui.

L'uso d'arnesi, la cultura, il linguaggio non possono quindi essere considerati come delle caratteristiche tipicamente ed esclusivamente umane, anche se, è inutile dirlo, da un punto di vista quantitativo l'uso che l'uomo ne fa non lascia nessuna possibilità di paragone. Da un punto di vista qualitativo sono però necessarie delle distinzioni spesso molto sottili, e che non possiamo certo ritenere definitive.

La comunicazione

Il linguaggio degli animali appare dunque molto più ricco di quanto si supponeva in passato. Tuttavia, come diceva Bertrand Russel, per quanto un cane o un gatto (o un cercopiteco) siano eloquenti non saranno mai capaci di dire che i loro genitori erano poveri ma onesti...

Questa di parlare è una capacità tipicamente umana. Come è nata? E come si è sviluppata? E quali sono i problemi che pone oggi il linguaggio nella nostra società, per migliorare la circolazione delle esperienze e delle idee?

Oggi non sappiamo molto su come siano sorte le prime forme di comunicazione tra gli uomini: non esistevano purtroppo registratori o cineprese a quel tempo. Possiamo però fare delle ipotesi.

Per esempio, sappiamo che l'uomo, come gli animali, possiede un linguaggio innato, cioè un linguaggio che non ha avuto bisogno di imparare. Per esempio è in grado di comunicare con delle espressioni: collera, paura, piacere, dolore, sorpresa, ansia.

Queste espressioni sono in larga misura comuni a tutti gli uomini della Terra, anche a quelli sempre vissuti in gruppi isolati. Degli esperimenti hanno dimostrato che, attraverso queste espressioni, uomini di culture diverse riescono a comunicare la maggior parte delle loro emozioni.

Esistono negli esseri umani altre forme di linguaggio innato. I neonati, per esempio, sanno già produrre una quantità di

suoni che significano cose diverse senza averle mai imparate: fame, collera, gioia, dolore. Queste espressioni e intonazioni istintive sono dello stesso tipo di quelle presenti nel linguaggio animale, anch'esso ricco di suoni, di espressioni e di atteggiamenti. Ma nell'uomo è apparsa a un certo punto la parola. Come può essere avvenuto?

Certo nell'uomo esistono una laringe e un apparato vocale adatti, in grado di articolare i suoni e di modulare la voce; ma la vera differenza con l'animale, ovviamente, non è nella laringe o nell'ugola: la differenza è nel cervello. Il cervello umano non solo è molto più sviluppato, ma è sviluppato specialmente in due zone: quella che controlla la mano e quella del linguaggio.

L'area del linguaggio è uno sviluppo tipicamente umano. Non si sa bene quando ciò sia avvenuto. Gli antropologi ritengono che questo cambiamento si sia verificato poco alla volta. I resti fossili indicano infatti che negli ultimi tre-quattro milioni di anni vi è stato un aumento graduale del volume del cervello parallelamente a un aumento graduale della complessità degli strumenti in pietra. Questo sviluppo del cervello ha permesso di elaborare meglio le percezioni e di raggrupparle via via in concetti astratti, consentendo così probabilmente, in seguito, anche la nascita delle prime parole simboliche.

Le prime parole

Forse le prime parole apparvero quando cominciò la caccia in gruppo. Per uccidere certi grandi animali infatti occorreva essere in molti, ed era necessario poter comunicare. Un semplice suono gutturale, ripetuto nella stessa circostanza, potè forse così diventare un primo simbolo, capace di conservare la memoria dell'esperienza, e di poterla in seguito comunicare ad altri.

Un graduale arricchimento del repertorio dei suoni, e un loro lento « montaggio », consentì così forse la nascita delle prime forme di comunicazione per simboli.

L'uomo è in grado di produrre soltanto 40 fonemi, con la sua voce. Il problema non è quindi quello di pronunciare più suoni, ma di organizzarli sempre meglio nel cervello. Bastano 40 fonemi per dire miliardi di cose diverse. Così come bastano poche note per comporre tutte le musiche possibili. E bastano dieci numeri con pochi simboli per fare tutte le matematiche possibili.

Molti ritengono che sia stato proprio il linguaggio, con i vantaggi di sopravvivenza che esso consentiva, a creare coesione e cooperazione fra i primi gruppi umani e a dare origine anche alle prime forme di cultura e di socialità tipicamente umane. La vita in comune e le lunghe cure parentali probabilmente favorirono lo sviluppo del linguaggio e anche la trasmissione del sapere culturale. Questo graduale sviluppo del linguaggio rese così possibile anche l'organizzazione della vita comune.

La voce umana però è in grado di produrre solo 40 suoni, 40 « fonemi », come vengono chiamati. Inizialmente dunque il vocabolario doveva essere assai ristretto; ma questi 40 fonemi a un certo punto hanno cominciato ad agganciarsi creando un gran numero di combinazioni. Oggi un individuo può conoscere oltre centomila parole... e comporre un numero sterminato di combinazioni di frasi.

Ciò significa che in ogni cultura gli esseri umani sono in grado di comunicare praticamente qualsiasi cosa con notevole accuratezza. Disponendo di un vasto repertorio di simboli comuni è infatti possibile descrivere non solo un avvenimento, ma anche un pensiero; è possibile riferirsi a situazioni passate

o a situazioni future. Si possono evocare anche sentimenti, sensazioni e provocare con le semplici parole reazioni di collera, o paura, o piacere, o dolore, o sorpresa.

La parola insomma si può sostituire alla realtà: è un modo per trasmettere informazioni, apprendimenti e cultura. Ma a una condizione: bisogna che il ricevente *capisca.* Altrimenti non c'è più comunicazione: le parole vanno perse, e non riescono più a evocare negli altri quelle percezioni mentali che permettono la comprensione. A quel punto non ci si capisce più.

Normalmente gli individui riescono a trovare i livelli giusti di comunicazione, adattando il linguaggio ai vari interlocutori. Un medico per esempio parla in modo diverso a seconda che si rivolga a un collega o a un paziente. Questo adattamento è quasi spontaneo; c'è tendenza a mettersi nei panni degli altri, come si dice.

Sono stati fatti vari esperimenti in proposito. Per esempio un individuo fingeva di chiedere informazioni stradali; se lo faceva con aria sicura la risposta era breve, ma se assumeva un'aria smarrita e parlava con un accento straniero la risposta era molto più lunga, e accompagnata da gesti chiarificatori. In altri esperimenti si è visto che questa capacità di adattamento è minore nei bambini: essi hanno difficoltà nell'adeguare il loro linguaggio per renderlo comprensibile agli altri. La capacità di adattare le parole alle circostanze (e in particolare al nostro interlocutore) richiede infatti un sufficiente sviluppo mentale. Vari esperimenti hanno dimostrato che una capacità di « decentramento » (cioè di mettersi nei panni degli altri) cresce con l'età. Ma spesso non è sviluppata a sufficienza neppure nelle persone adulte.

Per riuscire a essere chiari e comprensibili occorre insomma una certa maturazione intellettuale; e questa maturazione, ovviamente, deve crescere man mano che la complessità dei sistemi e delle idee che si debbono trasmettere aumenta. Altrimenti si finisce per non essere più all'altezza del compito.

La circolazione delle idee

Nelle nostre società noi viviamo praticamente immersi nelle comunicazioni, nello scambio continuo di informazioni e messaggi; e abbiamo bisogno estremo che la circolazione delle parole e delle idee penetri a ogni livello, altrimenti i nostri sistemi complessi non riescono più a funzionare adeguatamente.

Questo vale in particolare per tutte le parole scritte e parlate che escono dai mezzi di comunicazione di massa: se il linguaggio non è adeguato il destinatario è privato di comunicazione, e viene così ostacolato nell'accesso alla scienza, all'economia, alla cultura, e quindi in pratica dirottato verso altre fonti, verso altri messaggi meno impegnativi. La televisione è un esempio tipico: se l'informazione culturale è incomprensibile (e noiosa), il telespettatore viene in pratica costretto a cambiar canale, e a sintonizzarsi su un film o un telefilm.

Il problema del linguaggio oggi, quindi, sembra porsi come uno dei più importanti per il « mondo delle parole » in cui viviamo. Senza le parole adeguate, i concetti non passano. E diventa difficile far circolare le idee: ma se le informazioni e le idee non riescono più a circolare adeguatamente è difficile appartenere al proprio tempo.

La difficoltà di capirsi (tra individui che parlano la stessa lingua...) è oggi un grosso problema. Vale perciò la pena, a questo punto, di approfondire un po' più l'argomento affrontando direttamente quello che è forse il punto chiave di tutto questo discorso: la divulgazione.

Di divulgazione, infatti, si parla molto spesso, ma non sempre in modo adeguato. Vediamo in che termini si può inquadrare il ragionamento.

La divulgazione

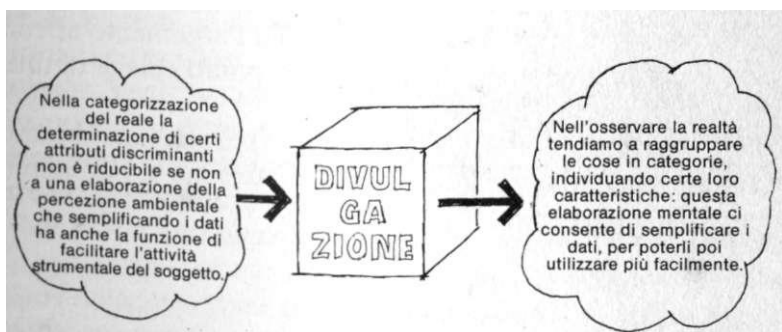
Avete mai riso per una barzelletta raccontata in giapponese? O avete mai provato interesse per un romanzo scritto in finlandese? Probabilmente no.

Se però vi accusassero, su questa base, di non possedere il senso dell'umorismo o di non interessarvi alla letteratura trovereste ovviamente questa accusa ingiusta e ridicola.

Il problema della divulgazione è tutto qui. Divulgare significa semplicemente *tradurre.* Cioè dire la stessa cosa con altre parole.

L'ambiente in cui oggi viviamo e pieno di linguaggi che non comprendiamo: linguaggi che riguardano il mondo dell'economia, della tecnologia, dell'arte, della politica, della scienza ecc. La difficoltà, molto spesso, non è nei concetti, ma nel modo in cui sono espressi. Con un buon « traduttore » noi siamo in grado di ridere alla barzelletta giapponese o di gustare il romanzo finlandese: analogamente diventiamo capaci di capire l'economia, la tecnologia, l'arte, la politica, la scienza.

Il problema è quello, in sostanza, di trasformare dei rumori in segnali. Il mondo della comunicazione è infatti pieno di brusii incomprensibili: utilizzando un codice adatto, diventa possibile convertirli in linguaggi udibili e comprensibili.

Non è un'impresa facile. Essa comporta almeno due qualità per chi cerca di operare questa conversione: innanzitutto capire bene questi brusii e poi trovare l'equivalente corretto per la traduzione.

La divulgazione deve infatti fare i conti con questi due problemi, che richiedono competenza e immaginazione: cioè da un lato comprendere nel modo giusto le cose, interpretandole adeguatamente per trasferirle in un diverso linguaggio: dall'altro essere non solo chiari ma anche non-noiosi, pur mantenendo integro il messaggio (anzi, non aver paura di esser divertenti: l'umorismo è uno dei compagni di strada dell'intelligenza).

Per queste ragioni, paradossalmente, si può dire che è più difficile... essere facili. Tutti, infatti, sono capaci di parlare o di scrivere in modo oscuro e noioso: la chiarezza e la semplicità, invece, sono scomode. Non solo perché richiedono più sforzo e più talento, ma perché quando si è costretti a essere chiari non si può barare. Sappiamo tutti, per esperienza, che le parole possono spesso servire da cortina fumogena per nascondere i pensieri. O per nascondere la propria ignoranza su certi argomenti. Rimanendo nel vago e nell'ambiguo, si riescono più facilmente a mascherare i buchi. Invece, quando si è obbligati a esser semplici, bisogna dimostrare di aver capito davvero. Anzi di essere arrivati al nocciolo della questione e di averne individuato i meccanismi.

Non solo, ma alla chiarezza, solitamente, deve accompagnarsi un'ulteriore fatica: la concisione. E ben nota quella battuta di un giornalista che, consegnando il suo articolo al direttore, disse: « Scusa se è lungo, ma non ho avuto il tempo per farlo breve... » Del resto si racconta che il capo redattore del « Times » di Londra, per valutare i talenti degli aspiranti giornalisti, era solito ricorrere a questo esercizio: consegnava loro del materiale d'agenzia affinché redigessero un articolo di una colonna. Poi chiedeva di raccontare la stessa cosa in *mezza* colonna. Poi ancora di raccontare la stessa cosa in *un quarto* di colonna...

È sorprendente che in un mondo come il nostro, che si basa sulla comunicazione, il problema di *come* comunicare continui a porsi solo marginalmente. Se ne parla molto, è vero, ma si fa assai poco per migliorarlo, sia nella scuola, sia ai vari livelli della formazione culturale. E i risultati si vedono poi in

ogni aspetto della vita. Basterebbe per esempio leggere un qualunque modulo o formulario delle nostre Amministrazioni pubbliche, per rendersi conto del baratro linguistico che esiste tra il cittadino e coloro che dovrebbero aiutarlo a capire. Persino un semplice formulario che riguarda la richiesta di rinvio del servizio militare diventa un rompicapo che richiede consulenze di familiari, amici, ex combattenti.

In gran parte della nostra vita, culturale, economica, politica, scientifica, amministrativa, insomma, il ronzio prevale sui segnali, i rumori di fondo sul linguaggio.

Come ebbe a dire il biologo Peter B. Medawar, in un libro in cui cercava di dare qualche consiglio ai giovani scienziati, bisognerebbe invece cercare per quanto possibile di evitare che, leggendo un testo, il lettore si senta come qualcuno che « attraversa a piedi nudi un fiume di fango o una distesa di vetri rotti ».

Capire per partecipare

Nessuno ha mai fatto i conti del costo economico, sociale e culturale di una inadeguata comunicazione: ma si tratta probabilmente di una cifra astronomica. È come se all'interno del cervello i segnali nervosi circolassero con difficoltà. Una cattiva comunicazione rallenta tutto il processo di sviluppo e provoca danni all'intero sistema. Per non parlare dei danni politici. Solo una corretta comprensione dei problemi, infatti, consente di affrontare meglio certe questioni di interesse comune. E consente anche di poter contare su un'opinione pubblica più informata, capace di rispondere in modo più razionale a certe scelte, senza lasciarsi troppo influenzare da sollecitazioni emotive.

Curiosamente oggi si parla molto di partecipazione, intesa come uno strumento di sviluppo democratico, ma raramente si parla di divulgazione come condizione essenziale per capire e quindi per partecipare. La democrazia non può basarsi sull'ignoranza dei problemi, perché uno dei suoi grandi obiettivi

è proprio quello di rendere i cittadini responsabili e consapevoli, in modo che possano esercitare i loro diritti utilizzando al meglio la loro capacità di capire.

• Ogni volta, quindi, che si sottrae a qualcuno una parte della sua capacità di capire, lo si priva di una parte dei suoi diritti. È una censura mentale, una specie di furto neurologico che viene perpetrato in continuazione. Inconsapevolmente o consa» pevolmente.

Questo è tanto più grave quando la comunicazione, per definizione, deve essere di massa. Cioè destinata a tutti gli individui: soprattutto a quelli che ripongono in certi mezzi (in particolare la televisione) il solo aggancio culturale col proprio tempo. Se il messaggio non « passa » è la chiusura, è il brusio di fondo. L'utente, come dicevamo prima, cambia « canale ». Non riuscendo a capire le cose intelligenti e utili dette in giapponese o in finlandese, finisce per rifugiarsi in quelle meno intelligenti o di evasione, dette però in un linguaggio che gli è familiare.

Per questa ragione quando un lettore (o ancor più un telespettatore) non capisce, la colpa non è sua: ma è di chi non ha saputo comunicare. Cioè dell'autore. È stato lui a cacciarlo via.

Facendo questo lavoro da tanti anni, questi problemi me li sono posti continuamente. E ho cercato di sviluppare anche qualche tecnica per cercare di migliorare i risultati. Una di queste, naturalmente, è di riscrivere e correggere più volte lo stesso testo, fino a quando è sufficientemente purificato dalle spine linguistiche. Poi, quando sono in moviola, se ho dei dubbi sulla chiarezza di un passaggio o di una sequenza, chiamo il primo che passa nel corridoio (un montatore, una segretaria, una passafilm), mostro la sequenza e chiedo il loro parere. Se vedo un'ombra di dubbio nei loro occhi, rismonto e ricomincio da capo. Perché vuol dire che avevo sbagliato io.

Purtroppo molte persone ancora oggi (pur proclamando alti i principi della democrazia) in realtà scrivono, parlano e compongono programmi pensando più ai colleghi e ai critici che ai veri destinatari, cioè al pubblico. Questo fa sì che la comuni-

cazione di massa non raggiunga il suo scopo primario, quello cioè di comunicare a vasti gruppi di cittadini, e non soltanto a pochi.

Ciò avviene, molto spesso, anche perché manca il cosiddetto « feed-back », la reazione di ritorno. Manca cioè una vera risposta di « mercato ». Se per esempio una fabbrica di scarpe producesse soprattutto scarpe numero 33, 34 e 44, 45 rapidamente fallirebbe. Perché la « massa » dei piedi è compresa fra i numeri 35 e 43. Ovviamente molto prima di fallire modificherebbe la sua produzione, tenendo conto delle misure effettive dei clienti. Questa correzione purtroppo non si verifica invece nella comunicazione di massa, dove si può continuare impunemente a far scarpe fuori misura (o di misura solo per certi clienti), senza che nulla succeda. La maggioranza dei clienti, spesso, è così costretta a infilarsi le pantofole, o a rimanere a piedi nudi.

Resta da chiedersi quali possono essere le ragioni di questa mancanza di sensibilità ai problemi della divulgazione. O addirittura perché a volte si preferisce non farla. Le ragioni possono essere varie, e non sempre confessabili. Esiste infatti tutta una gamma di motivazioni che inducono a essere oscuri. Oppure a essere molto chiari.

Chiarezza e oscurità

Prendiamo due casi estremi; la pubblicità e i contratti assicurativi. Nella pubblicità l'imperativo è: farsi capire, far entrare nella testa del pubblico il messaggio che si vuol divulgare. Nel modo più semplice. E farglielo ricordare. La tecnica della pubblicità è quindi in gran parte una tecnica di divulgazione (anche se in questo caso c'è una distorsione dei contenuti). Nessuna ditta pagherebbe mai un'agenzia pubblicitaria che producesse messaggi poco chiari. Ecco quindi che, nel caso della pubblicità, tutto lo sforzo è diretto a essere subito « leggibili », a evitare il linguaggio oscuro e la noia.

Nel caso di certi contratti assicurativi o di condizioni di ven-

Due casi di linguaggio e di divulgazione. La pubblicità deve subito farsi capire dal cliente. Certi contratti invece sono volutamente poco chiari e scoraggiano la lettura a danno, ovviamente, del cliente.

dita, invece, avviene esattamente l'opposto. Lo scopo, infatti (anche se non confessato), è a volte quello di essere poco chiari e, per quanto possibile, scoraggiare il cliente dalla lettura delle clausole, in modo che i punti a vantaggio della compagnia passino più inosservati.

Ecco allora uscire tutto l'armamentario dell'incomprensibilità: linguaggio oscuro, termini tecnici, frasi lunghissime, continui richiami a paragrafi precedenti e... caratteri tipografici piccolissimi (le cosiddette « clausole oftalmiche »).

Tra questi due estremi esiste, come dicevamo, tutto un ventaglio di situazioni intermedie. C'è molta gente che parla e scrive in modo chiaro, altri in modo appena leggibile, altri in modo noioso e poco comprensibile. Altri addirittura illeggibile.

Perché si è incomprensibili? Per incapacità, negligenza, calcolo, ignoranza, desiderio di apparire colti, cattiva abitudine, disinteresse per il pubblico ecc. Tutte ragioni evidentemente condannabili. Infatti se è perfettamente legittimo che due medici o due ferrovieri parlino tra loro con un gergo professionale, non è più legittimo che essi siano incomprensibili quando parlano ai pazienti in ambulatorio o si rivolgono al pubblico dallo sportello della biglietteria. La stessa cosa vale per gli economisti, per i politici, per gli intellettuali e per tutti coloro

che si esprimono attraverso i mezzi di comunicazione di massa. Quando parlano al pubblico devono obbligatoriamente cambiare linguaggio. Se non sono in grado di farlo devono farsi sostituire da altri. Siccome, però, da soli non prenderanno mai questa scomoda decisione, bisogna che siano i destinatari, cioè i « clienti », a protestare. A restituire le « scarpe » coi numeri sbagliati. E qualche volta, perché no?, a tirargliele...

Il guaio è che c'è ormai una tale assuefazione a questi linguaggi oscuri (scritti e parlati) che la gente li accetta come la pioggia o la nebbia: fanno parte del paesaggio. Oppure, peggio ancora, molti cadono in trappola: ritengono che siano quelle le regole della « cultura » e che quindi sia perfettamente giustificato che un uomo colto parli in modo non comprensibile. Altrimenti che uomo colto sarebbe? Se le cose che dice le capisce anche un ignorante, allora vorrebbe dire che le cose non sono così difficili, e che i sapienti non sono poi così sapienti...

Purtroppo questo incoraggia la già diffusa tendenza da parte di certe persone a usare il linguaggio come simbolo del potere.

A volte le cose vanno persino più in là. C'è gente che preferisce non capire anziché esigere chiarezza, perché sarebbe come ammettere che non è abbastanza intelligente e colta. La verità è che questa gente non ha abbastanza ricchezza interna per poter dire: « Non ho capito. »

Dire « Non ho capito », infatti, è una dimostrazione di forza. Significa dimostrare di non avere complessi di inferiorità. Ed è anche un'arma per costringere l'interlocutore a « scoprirsi ».

Del resto, nessuno può essere esperto in tutti i campi. Un avvocato, cui si parla di genetica, è solitamente al livello di un intelligente quindicenne. E così un alto magistrato cui si parli di neurofisiologia del cervello.

Tutti hanno bisogno di divulgazione, sia le persone colte che quelle poco colte.

Eppure, la tradizione culturale del nostro paese, quella che

è simboleggiata dai cavalli rampanti e dagli araldi effigiati sui frontoni dei nostri palazzi ufficiali, continua a incombere coi suoi « rumori » linguistici. E a condizionare persino coloro che dovrebbero essere i naturali nemici dell'incomprensione. Mi diceva un amico che, al momento dell'entrata in funzione delle SAUB, vide nell'elenco dei medici che potevano essere scelti anche la voce « stomatologo ». Chiese all'impiegato se non era meglio scrivere « dentista », in modo che tutti capissero. Trovò solo ostilità e rifiuti. Anzi, fu allontanato come un seccatore...

Io stesso, molte volte (specialmente in passato), ho sentito tra alcune persone del pubblico questa riluttanza ad accettare la divulgazione, quasi come uno *status symbol* negativo. Sono spesso quelle stesse persone che nello scaffale della libreria di casa hanno opere di prestigio che non leggeranno mai, ma che servono a fare « facciata ».

Ma c'è una grande e crescente maggioranza di persone (anche di grande cultura) che hanno capito l'importanza e il ruolo della divulgazione, cioè della « traduzione »: hanno capito che per poter accedere davvero a certe conoscenze occorre avere una chiave, e che è ridicolo far finta di conoscere il giapponese o il finlandese, quando in realtà non lo si capisce: sarebbe dar prova di poca intelligenza.

Ritengo che quando si sarà sufficientemente diffusa questa idea, cioè che la divulgazione è non soltanto una cosa utile ma anche un vero e proprio diritto, comincerà allora anche una selezione darwiniana per gli incapaci, i negligenti e i furbi che ci affliggono.

Per ora ce li dobbiamo tenere. Oppure... avete una scarpa a portata di mano?

L'importanza dei primi anni

Ma torniamo ora al discorso dell'apprendimento. Se il linguaggio è di enorme importanza per comunicare idee, insegnamenti, comportamenti ecc., non è ovviamente soltanto at-

traverso la comunicazione verbale che un individuo è in grado di acquisire esperienze, apprendere, e in definitiva arricchire il suo sviluppo mentale.

Durante tutto il corso della sua vita, una serie di altre cose gli consentono di progredire lungo questa strada: in particolare durante il primo periodo della vita.

La psicologia moderna sta oggi rivalutando moltissimo questo primo periodo della prima infanzia, poiché appare sempre più come un momento in cui avvengono cose fondamentali per il futuro mentale dell'individuo.

Una di queste è il gioco, considerato da molti oggi come un meccanismo essenziale per mettere in moto tutto il motore cerebrale.

Nel precedente capitolo già si accennava all'importanza del gioco negli animali, notando che se un animale non ha avuto esperienze ludiche da piccolo non riesce poi a svolgere certi compiti da adulto. Uno scimpanzé, per esempio, ha bisogno di giocare con un rametto per essere poi capace da adulto di andare a pesca di termiti.

Analogamente l'uomo, per sviluppare la sua intelligenza e la sua immaginazione, sembra aver bisogno di una lunga esperienza di gioco.

Spesso noi guardiamo al gioco come a un semplice svago, a un momento della vita in cui ci si può rilassare, distrarre. Soprattutto vediamo il gioco infantile come un periodo di beato divertimento, in attesa che, crescendo, l'individuo cominci poi a occuparsi di cose più serie, come lo studio, il lavoro, o le attività intellettuali.

Ebbene, la moderna ricerca sta ribaltando completamente questa impostazione. E sembra quasi dirci che è il gioco, in un certo senso, a produrre i nostri talenti nel lavoro e nello studio...

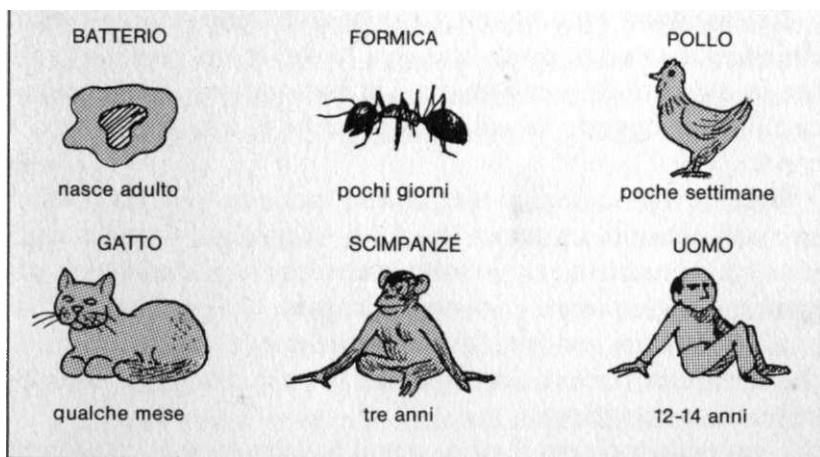
E un modo di vedere le cose di estremo interesse. Che ci permette di capire meglio una fondamentale catena di avvenimenti nello sviluppo del sistema nervoso, e anche del cervello. Vediamo.

Tra tutti gli esseri viventi l'essere umano è il più lento a diventare indipendente dalle cure dei genitori. L'infanzia umana, infatti, è un periodo lunghissimo, che non ha uguali nelle altre specie.

Non solo: ma il cervello umano, non ancora del tutto pronto alla nascita, continua a maturare per lunghi anni, completando uno sviluppo fisiologico che si prolunga durante tutto l'arco dell'infanzia.

Questa apparente lentezza dello sviluppo è in realtà un grande vantaggio per la specie umana. Perché è proprio durante questo periodo particolarmente sensibile che il cervello riesce a plasmarsi, ad accumulare esperienze e ad arricchirsi, per poter sviluppare poi le sue grandi potenzialità.

È significativo il fatto che più si sale nella scala evolutiva, più la durata di questo periodo si allunga.

Un batterio, per esempio, non ha infanzia, è pronto immediatamente a entrare in azione. Una formica diventa adulta in pochi giorni. Un pulcino diventa adulto in poche settimane. Un gatto ha bisogno di qualche mese. Uno scimpanzé ha biso-

Durata dell'infanzia.

gno di tre anni. Nella specie umana si diventa adulti solo dopo la pubertà, cioè verso i 12-14 anni.

Questo lungo periodo di maturazione, ovviamente, non è perso, non è un tempo inutilizzato: ma anzi è proprio quello che permette di preparare i grandi exploits dell'adulto.

Cosa fa il bambino in questo primo periodo della vita? In gran parte *gioca.* E il gioco è una specie di palestra che consente di esercitare i meccanismi nervosi nelle varie direzioni: movimento, esplorazione, osservazione, immaginazione ecc.

È infatti attraverso il gioco che il bambino impara ad avere un rapporto con gli oggetti, impara a toccare, manipolare, strappare, avvolgere. Ed è attraverso il gioco che impara a interpretare gli avvenimenti, ad anticipare i risultati.

Ma cosa spinge il bambino a giocare? Le ricerche moderne ritengono che esista una specie di bisogno fisiologico di far funzionare la macchina nervosa, così come c'è bisogno di correre, di saltare. E che ciò sia gratificante di per sé.

Si è visto che anche certi animali, come i macachi del Giappone, compiono giochi senza un motivo apparente: per esempio rotolano delle palle di neve e poi ci si siedono sopra. Solo per il piacere di farlo. Il gioco puro, senza utilità pratica, permette così di avere continue esperienze; utili, magari, per successive applicazioni.

Nel bambino, man mano, i giochi diventano più complessi, e matura a un certo punto una qualità tipica del cervello umano: la capacità di immaginare. Un bastone può diventare un cavallo, un oggetto circolare il volante di una macchina da corsa.

Giocare agli indiani in un cantiere, per esempio, può stimolare una quantità immensa di spunti: si possono simulare personaggi e situazioni, si possono costruire rifugi e capanne, organizzare avvistamenti, inventare regole. Ci sono aspetti manuali, agonistici, emotivi, di progettazione. È un tipo di gioco che si rinnova sempre, impegnando tutte le strutture cerebrali in via di maturazione.

E anche attraverso il gioco che il bambino esce dal suo iniziale ego-centrismo. La bambola, per esempio, crea un rove-

sciamento dei ruoli. Attraverso una simulazione mentale ci si mette così nei panni degli altri, sperimentando situazioni viste dall'altra *parte.* Anche il travestimento permette di immedesimarsi in personaggi del tutto diversi, cercando di entrare nella loro psicologia e personalità.

Curiosamente oggi questo scambio delle parti viene usato anche nel mondo degli adulti: per esempio nelle terapie fatte con i cosiddetti « psicodrammi », dove i pazienti sono invitati a interpretare personaggi diversi, o magari antagonisti, per capire meglio la psicologia degli altri.

Anche in certi corsi per dirigenti d'azienda, del resto, si simula uno scambio dei ruoli, per capire meglio i punti di vista della controparte.

Il gioco, insomma, nei suoi vari aspetti, prepara la strada allo sviluppo umano. E si può dire, in un certo senso, che i gesti e i comportamenti del bambino, nel gioco, anticipano e precorrono quelli dell'adulto.

E infatti nel gioco che cominciano a prender forma quelle capacità di progettazione e di manualità, e a volte persino quei ruoli che si ritrovano poi sviluppati nella vita adulta.

Se si privasse l'individuo del gioco molte delle potenzialità umane rimarrebbero inaridite. In particolare la creatività, che è legata alla fantasia dei giochi. Si è visto, per esempio, che anche certi animali allevati in isolamento, e privati della possibilità di giocare con altri, hanno sviluppato turbe psicologiche e di comportamento: e si è poi constatato che, con il gioco, è stato possibile guarire, almeno in parte, questi disturbi.

Una palestra mentale

Giocare, quindi, è per il bambino un po' come allenarsi, è come lavorare, per stimolare il suo sistema nervoso e svilupparlo.

E un po' come andare in palestra o in ufficio, per svolgere un lavoro piacevole ma istruttivo.

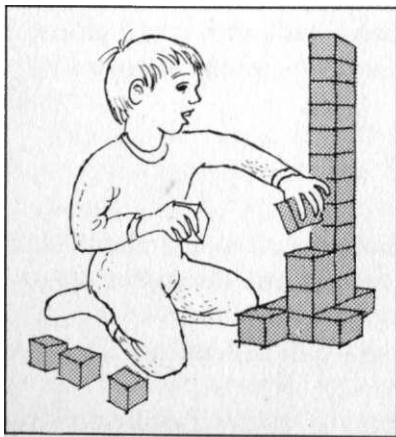
E facile quindi comprendere quanto, attraverso il gioco, sia

possibile agire sull'educazione e sullo sviluppo del bambino. Ed è facile anche capire quanto sia importante la scelta dei giocattoli: spesso i genitori scelgono giocattoli belli, ma solo contemplativi, o passivi. Dopo un po' il bambino si annoia.

Oggi esistono molti giocattoli educativi che tengono conto di queste esigenze creative del bambino, ma c'è ancora parecchio spazio per migliorarli e inventarne di nuovi. Sarebbe anzi augurabile che pedagogisti, inventori, artisti, scienziati, si dedicassero a questo importantissimo compito: quello cioè di trovare gli attrezzi più adatti per favorire lo sviluppo del cervello proprio nel periodo più sensibile.

Il gioco, inoltre, dimostra che il bambino, quando è motivato, non si stanca: resiste al freddo, alla stanchezza, alla fame, pur di continuare nel suo gioco. E un po' come un adulto che sia fortemente motivato nel suo lavoro.

Riuscire, quindi, a trovare il modo giusto per inserirsi in questi suoi interessi significa riuscire a far passare una gran quantità di insegnamenti. Il gioco, infatti, può essere una delle chiavi essenziali dell'apprendimento.

« Ludendo docère », dicevano i Romani, cioè insegnare divertendo (vale a dire interessando). E una massima che dovrebbe essere scritta a caratteri cubitali non solo all'ingresso di ogni scuola, ma ovunque si elaborano insegnamenti e informazioni.

Per il bambino il gioco è un esercizio fondamentale per sviluppare il suo sistema nervoso e anche le sue attitudini. È come andare in palestra o a scuola. Senza gioco non può esservi sviluppo equilibrato.

Anche perché questo rapporto segreto col gioco, che ha così profondamente impregnato l'infanzia, permane nell'adulto. Gli psicologi infatti dicono che l'individuo, nel corso del suo sviluppo, tende a passare da un'attività ludica a una ludiforme.

Ciò significa che, finita l'infanzia, si cerca comunque di continuare a giocare nel lavoro; nel senso che si tende a trovare un lavoro che piaccia e che continui a suscitare le stesse motivazioni e gli stessi interessi che si trovavano nel gioco. Alcuni ci riescono, almeno in parte: come artisti, scienziati, professionisti, sportivi o anche politici. Per altri invece l'aspetto ludico decade, essendo costretto a orientarsi verso lavori ripetitivi e per niente gratificanti.

Di qui l'insoddisfazione per la propria attività, che non riesce a esaudire quelle antiche spinte e motivazioni del gioco.

In definitiva il gioco comincia oggi a esser visto come qualcosa di molto più profondo di un passatempo e di un'evasione.

L'intera infanzia umana e buona parte dello sviluppo si identificano col gioco. Questi meccanismi di base permangono nell'adulto, e un'attività ludica o ludiforme costituisce probabilmente una condizione essenziale per un buon sviluppo psicologico. Anche se a volte si ha quasi paura di confessare questo antico desiderio di giocare.

In un mondo che tende ad appiattirsi e spesso anche a perdere il senso dell'umorismo, l'augurio migliore che si possa rivolgere a una persona seria è quello... di continuare a giocare da adulto.

Nei panni del futuro

Questo discorso sul gioco e sull'immaginazione ci porta a un altro aspetto fondamentale dello sviluppo umano: la capacità di simulare mentalmente situazioni non ancora esistenti. Cioè immaginare il futuro.

L'immaginazione, infatti, ha questo di straordinario: con-

sente a un individuo di anticipare mentalmente una situazione che non è ancora entrata nel suo campo visivo. Gli consente cioè di « vedere », o meglio di « pre-vedere » le conseguenze di un gesto, di un'azione, di un comportamento.

È un talento tipicamente umano, che risulta dall'attività di certe zone della corteccia cerebrale situate probabilmente nei lobi frontali. Infatti il gran numero di cellule nervose di elaborazione (cioè cellule nervose che hanno tra loro molte ramificazioni e collegamenti e che creano fittissimi circuiti in queste aree corticali) rende probabilmente possibile un'attività di associazione basata su « montaggi » simulati di frammenti di esperienze.

Per dirla in modo più semplice, è come se possedessimo nel cervello un caleidoscopio mentale, in cui certe memorie di esperienze venissero ad assemblarsi in un'immagine unica, dandoci una veduta di come si presenterà il problema che stiamo affrontando, se collegato ai vari fattori che gli sono associati.

Questa capacità di immaginare, lo abbiamo visto, è tipica del gioco, quando, per esempio, un ragazzo (o un adulto) cambia ruolo e si mette nei panni di un altro. In quest'altro caso il procedimento è simile: si tratta soltanto di mettersi nei panni del futuro.

C'è un celebre detto che afferma: « Governare è prevedere » (ahimè! quanto disatteso...). Ed è vero. Così come quando si va in bicicletta non bisogna guardare la ruota ma la strada dinnanzi a sé (altrimenti si cade o si va a urtare contro qualcosa), analogamente una società umana deve poter prevedere e calcolare la traiettoria dei suoi gesti e delle sue decisioni.

La difficoltà è che, diversamente da quanto avviene andando in bicicletta, la nostra visibilità è limitata. Vediamo fisicamente solo una parte della strada, l'altra dobbiamo immaginarla. Dobbiamo cioè collegare mentalmente (e nel modo più corretto possibile) le nostre esperienze e conoscenze per « simulare » situazioni non ancora entrate nel nostro campo visivo.

Non è un esercizio semplice: eppure siamo condannati a imparare a farlo, perché in un mondo che si muove a velocità sempre più elevata la visibilità diventa sempre più corta, e quindi l'antico apprendimento per errore non serve più. Occorre quello che alcuni psicologi e pedagogisti, in un rapporto per il Club di Roma (un'associazione di umanisti, economisti, ecologi e scienziati che cerca di capire l'evoluzione futura dei nostri sistemi), hanno definito l'« apprendimento innovativo ». Vediamo di che si tratta.

L'apprendimento innovativo

Come dice il proverbio: sbagliando si impara. Ed è vero. Lungo tutta la nostra vita noi accumuliamo esperienze attraverso i nostri errori.

Impariamo per esempio a camminare senza cadere, a non toccare le prese elettriche, a moltiplicare 6x8 e a guidare l'auto senza confondere il freno con l'acceleratore.

Ognuna di queste esperienze ha richiesto un certo numero di errori, o magari di traumi, ma questi errori ci hanno insegnato a *non ripetere* gesti o scelte sbagliate.

E l'apprendimento per esperienza.

È un tipo di apprendimento comune anche agli animali. Premi e punizioni consentono di memorizzare le esperienze, e di tenerne conto per il futuro.

Ma in certi casi l'apprendimento per esperienza non serve. Anzi è catastrofico.

Se, per esempio, si scala l'Everest senza conoscerne i pericoli, non c'è più tempo per trarre insegnamento dagli errori. Si muore prima, per freddo, fame, intemperie e mancanza di ossigeno.

Ciò vale per molte altre cose. In particolare vale per le scelte che riguardano il nostro avvenire. Se si va verso il futuro senza conoscerne i problemi, l'apprendimento per errori non serve più. È troppo tardi.

Però come dicevamo l'uomo, diversamente dall'animale, è

in grado di utilizzare anche un altro tipo di apprendimento: quello che gli consente di immaginare le situazioni future, e intuirne le conseguenze, grazie ad associazioni mentali.

Questa capacità è il frutto non solo di un cervello complesso, ma di un allenamento mentale che deve cominciare sin dall'infanzia attraverso l'esperienza del gioco e continuare poi con una varietà di stimoli creativi.

È un tipico meccanismo umano, che da sempre è alla base dell'immaginazione e delle invenzioni. Invenzioni di macchine, di idee, di strategie, di progetti. Per risolvere problemi non ancora reali, ma immaginati tempestivamente.

Attraverso l'immaginazione l'uomo è riuscito a realizzare grandi imprese.

La conquista della Luna, per esempio, è avvenuta grazie a una serie di simulazioni mentali.

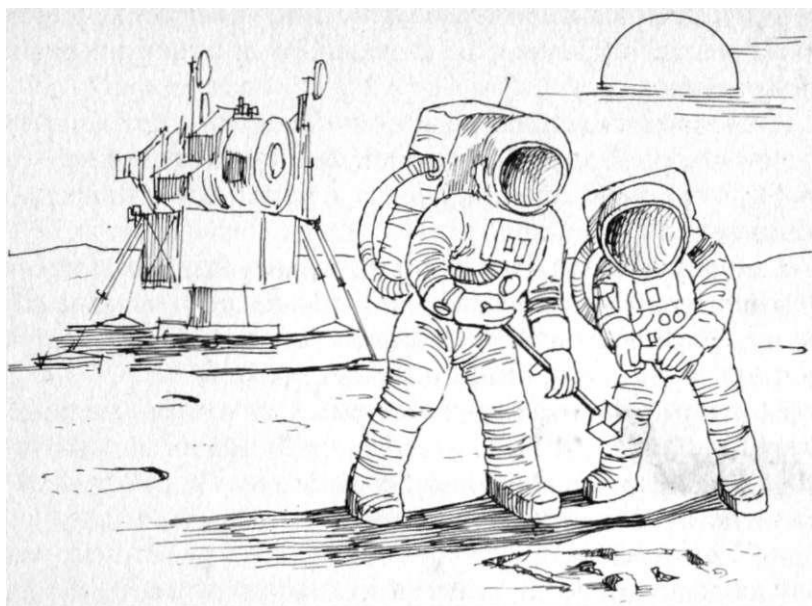
Sulla Luna non c'era mai stato nessuno prima: e non si poteva certamente usare l'apprendimento per errore.

Per fare arrivare fin lassù degli astronauti e riportarli a casa sani e salvi, è stato necessario simulare mentalmente (e risolvere) i problemi prima ancora che si ponessero: problemi collegati alle leggi di gravità, alle temperature, alle comunicazioni, ai carburanti, agli strumenti di navigazione, ai veicoli.

In altre parole si è imparato a fare una cosa del tutto nuova, cioè ad andare sulla Luna *senza mai esserci andati.*

È stato un apprendimento immaginato. Un « apprendimento innovativo ». Che ha consentito di operare nel modo giusto.

Anche per andare verso il futuro è ormai necessario affrontare il viaggio allo stesso modo. Sarebbe infatti catastrofico imparare con gli errori. Dobbiamo ormai riuscire a simulare mentalmente i problemi (e a risolverli) *prima ancora* che si pongano.

In fondo, è quello che già aveva fatto, a modo suo, Noè. Noè iniziò infatti, secondo la leggenda, a costruire l'Arca *prima* che cominciasse il diluvio, e non dopo. Cominciò a costruirla quando ancora non pioveva. Se avesse aspettato la pioggia, non avrebbe fatto in tempo a salvarsi.

Lo sbarco sulla Luna è un tipico esempio di apprendimento innovativo: nessuno c'era mai stato prima e bisognava quindi pre-vedere e immaginare le condizioni del volo. Un apprendimento per errore sarebbe stato catastrofico: eppure per «imparare» il nostro futuro non usiamo questo tipo di apprendimento immaginativo.

Noi oggi siamo costretti a fare altrettanto. Dobbiamo prevedere i problemi e imparare a risolverli *prima* di andarci a cozzare. Invece ci stiamo avviando verso il futuro con il metodo dell'apprendimento per errori. Non abbiamo per esempio saputo prevedere in tempo la crisi energetica, e stiamo procedendo a velocità crescente senza tener conto di tutti gli altri gravi ostacoli che stanno emergendo.

Le mosse sulla scacchiera

Ma, ammesso che lo si voglia, sarebbe davvero possibile prevedere il futuro? Il problema purtroppo è che troppi elementi si intrecciano e rendono la previsione assai difficile.

È come in una partita a scacchi: ogni volta che si sposta un

pezzo si modifica tutta la situazione sulla scacchiera. Perché tutti i pezzi si influenzano a vicenda. E ad ogni mossa la situazione cambia.

Analogamente, nelle nostre società industriali tutti i fattori dello sviluppo sono oggi intrecciati. Ogni volta che si agisce su un punto s'influenzano tutti gli altri, e si modifica la situazione *d'insieme.*

È quindi difficile prevedere esattamente come si presenterà la scacchiera fra 10 o 15 mosse. Quello che però si può facilmente prevedere è che se un giocatore gioca male, comprometterà senz'altro l'esito futuro della partita.

Uno degli errori tipici, per esempio, di un cattivo giocatore, è quello di mangiare subito certi pezzi che sembrano vantaggiosi senza pensare alle conseguenze future. Giocando a breve termine, in realtà, si compromette il lungo termine, e si finisce per perdere.

Analogamente nelle nostre società industriali noi tendiamo a mangiare subito certi pezzi che ci danno vantaggi immediati, senza pensare alle conseguenze lontane. Le nostre scelte non sono lungimiranti, ma brevimiranti.

Stiamo così preparando le crisi di domani. Allo stesso modo in cui ieri abbiamo preparato le crisi che conosciamo oggi.

Purtroppo l'esperienza ci insegna che i nostri tempi di reazione sono estremamente lenti. A volte passano 30 anni dalla percezione di un problema alla messa in pratica di una soluzione adeguata. E spesso è troppo tardi. Esiste oggi una vera e propria frattura tra la velocità dei cambiamenti e la capacità di guidarli e di correggerne le conseguenze.

L'apprendimento per immaginazione, e non per trauma (afferma un rapporto internazionale recentemente uscito sull'argomento), richiede un'educazione adeguata. Richiede cioè un'educazione che abitui a comprendere le connessioni tra le cose, a prevedere gli effetti collaterali, a preparare strategie alternative. E a capire le incompatibilità.

Noi oggi disponiamo di un'immensa macchina tecnologica, piena di potenzialità e di capacità di trasformazione. Ma siamo davvero in grado di guidarla?

E stiamo preparando le nuove generazioni a guidare una macchina così complessa?

I montaggi di idee

Si direbbe proprio di no. Noi siamo piuttosto programmati, dal nostro tipo di educazione, sul breve termine, sulla « brevi-miranza ». L'oggi occupa tutto lo spazio. Le rivendicazioni immediate, le pressioni per ottenere subito qualcosa, prevalgono. Anche se ciò si pagherà a più lungo termine.

È curioso pensare quanto ci preoccupiamo dell'avvenire dei figli (facendoli studiare, investendo sul loro futuro, cercando di prepararli a essere autosufficienti, e magari risparmiando soldo su soldo per lasciar loro una casa o un gruzzolo) mentre ci preoccupiamo molto poco del *contesto* in cui questi nostri figli dovranno poi vivere e lavorare. Cioè non investiamo sul futuro che sarà il loro, non facciamo nulla per evitare le crisi di energia e di occupazione che stanno emergendo in prospettiva, e che potranno essere all'origine di tensioni molto gravi.

Forse ci manca l'immaginazione necessaria perché questo futuro entri nel nostro campo visivo. Forse ci manca una motivazione sufficiente, per indurci ad agire. In ogni caso sembriamo mancare soprattutto di una cultura adatta a capire e a guidare queste grandi trasformazioni in corso.

Infatti la complessità crescente dei sistemi nelle nostre società tecnologiche e industriali richiede una grande capacità di comprensione delle nuove strutture nascenti. E come passare dalla guida di un'auto alla guida di un jet. Bisogna avere nuove « patenti », per essere in grado di interpretare tutti i segnali che appaiono sul cruscotto di bordo, e intervenire con manovre tempestive per correggere ogni volta la rotta nel modo più intelligente.

Per capire il mondo moderno occorrono insomma molti talenti: uno di questi (forse il principale) è di riuscire a far fronte ai crescenti « montaggi » di elementi che formano le nostre società industriali, con paralleli « montaggi » di idee, di in-

venzioni mentali e di adattamenti. Ciò richiede una comprensione più profonda del concetto di « informazione ». Ed è giunto il momento di parlare di questo concetto, poiché esso è alla base di tutte le strutture che vediamo intorno a noi: siano esse biologiche, tecnologiche o mentali.

L'informazione

Penso che tutti voi conosciate quei giochi di costruzione di plastica, quei pezzetti che si agganciano uno all'altro per costruire delle casette, dei campanili, dei vagoncini o qualunque altra cosa. Ebbene, questi giochi di costruzione rappresentano un utilissimo esempio per capire la natura, la vita e l'uomo.

Infatti, anche la vita è stata una lenta costruzione, partita dalle prime molecole organiche iniziali. Se si guardano ancor oggi gli organismi viventi ci si rende conto che essi sono costituiti dagli stessi materiali di base: un fiore, una carota o un coniglio sono costruiti con gli stessi elementi. Quello che conta è *come* sono collocati questi elementi, cioè come è organizzata la struttura che li riunisce. In altre parole, come questi elementi sono stati messi in una forma. Questa si può definire *informazione,* intesa appunto come « messa in forma ».

L'evoluzione della vita è stata una continua messa in forma di nuove strutture, una continua fantasia di elementi agganciati nei modi più diversi.

Pian piano è emersa, con L'*Homo sapiens,* la capacità non solo di lasciar fare alla natura questi agganci, ma di provocarli, di dirigerli.

Cioè con l'intelligenza, l'immaginazione, è apparsa la capacità di utilizzare materiali semplici e associarli in modi sempre più diversi, creando strutture sempre più straordinarie.

Questo è stato proprio il ruolo per esempio delle invenzioni, che attraverso i tempi hanno permesso di trasformare completamente il mondo in cui viviamo. E queste invenzioni sono state prodotte dal nostro cervello, che è stato capace, a sua volta, di organizzare nelle sue strutture cerebrali gli elementi

semplici di memoria, montandoli e associandoli per creare idee, immagini mentali, progetti.

Tutto ciò che vediamo intorno a noi, dagli edifici alle automobili, dalle strutture amministrative alla stessa organizzazione sociale, è in definitiva il frutto dell'attività cerebrale: si tratta cioè di strutture, di materiali o di costruzioni « messi in forma » grazie alla nostra intelligenza, creatività (o anche stupidità). Ma insomma, sono il prodotto dell'attività del nostro cervello: il riflesso della nostra intelligenza, della nostra cultura. Quindi, ogni volta che interveniamo in queste strutture per modificarle, correggerle o ripararle dobbiamo saper agire con competenza, perché è come nel gioco di scacchi di cui si parlava prima: se si compiono le mosse sbagliate si compromettono le sorti della partita.

Un altro esempio può aiutarci a entrare ancor meglio in argomento.

Come vibrare una martellata

È una storiella abbastanza conosciuta. Un automobilista, per strada, ha un guasto al motore, e spinge la sua auto fino dal meccanico. Questi osserva il motore, prova a smontare e rimontare, ma non riesce a metterlo in moto.

L'automobilista allora spinge l'auto fino a un secondo garage. Qui si ripete la stessa scena: il meccanico non riesce a trovare il guasto.

Finalmente arriva a un terzo garage. Qui il meccanico esamina con attenzione il motore, prende un martello e batte una martellata in un certo punto. Il motore riprende a funzionare perfettamente...

« Grazie! » esclama l'automobilista. « Quant'è? » « Cinquantamila lire, » risponde il meccanico. L'automobilista rimane perplesso: « Ma... cinquantamila lire per una martellata mi sembrano un po' tante! » « Oh no! » risponde il meccanico. « La martellata costa solo 10 lire. Le altre 49.990 sono per sapere *dove* dare la martellata. »

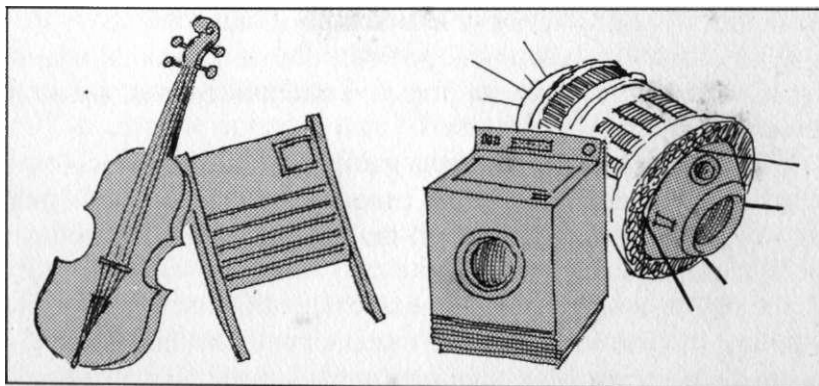
Questa storiella è estremamente istruttiva, perché contiene una delle verità profonde del nostro tempo, anzi di tutti i tempi. Sapere *dove* dare la martellata, per così dire, è sempre stato importante, in tutte le epoche.

Per esempio, Michelangelo sapeva dove dare le martellate giuste. Tutti sapevano usare lo scalpello: lui, però, riuscì a scolpire il Davide.

Eppure, in termini di lavoro e di fatica, il suo gesto non era molto diverso da quello di coloro che scolpivano paracarri. E neppure diverso da quello dell'uomo preistorico, che scheggiava le prime pietre.

Qual è la differenza? La differenza, in termini moderni, si chiama *software.* Potremmo chiamarla anche intelligenza o creatività o competenza. O più semplicemente informazione. Vale a dire « messa in forma », come dicevamo prima.

Delle tavole di legno, per esempio, possono servire per fare un'asse da lavare, oppure un violino Stradivari. Il materiale è lo stesso, per i due oggetti: quello che cambia è il contenuto in informazione.

Analogamente occorrono in pratica le stesse materie prime per costruire una macchina da lavare o un satellite artificiale.

Un violino Stradivari e un'asse da lavare sono fatti con lo stesso materiale: quello che cambia è la diversa «messa in forma». Anche una lavatrice e un satellite artificiale sono fatti sostanzialmente con gli stessi materiali: cambia anche qui l'«informazione».

Anche qui quello che conta non è quindi il materiale, ma il modo in cui è stato messo in forma. Cioè l'informazione.

Tutta la storia delle invenzioni è praticamente la storia dell'aumento della complessità. Dai primi semplici assemblaggi si è passati a strutture sempre più complesse. Più raffinate. Che riflettevano il crescente aumento di intelligenza, creatività, competenza.

Si è passati dalla ruota al carro, alla locomotiva, all'auto, all'aereo, al jet, all'astronave. Con una sequenza analoga si è passati dalle prime pietre alle frecce, alle palle di cannone, alle bombe, ai missili teleguidati.

E così si è passati dal binocolo al telescopio, al radiotelescopio. E dal pallottoliere al computer.

Tutto questo processo è stato, in definitiva, un modo per aumentare il contenuto energetico degli oggetti. Per andare più in fretta, o per usare armi sempre più potenti, o per vedere sempre più lontano, o per calcolare sempre più in fretta.

È grazie a questa capacità di assemblaggio che è stato possibile trasformare cose apparentemente inerti, come minerali, terra, olii, metalli, in oggetti apparentemente animati, come auto, macchine automatizzate, robots.

Anche la natura è stata capace di organizzare assemblaggi di molecole sempre più complessi. Attraverso una lunga evoluzione, ciò ha dato origine alla vita e alla comparsa dell'uomo.

Se per esempio noi smontassimo un uomo, per vedere come è fatto dentro, troveremmo:

15 chili di carbonio

4 chili di azoto

1 chilo di calcio

1/2 chilo di fosforo

1/2 chilo di zolfo

2 etti di sodio

1 etto e mezzo di potassio

1 etto e mezzo di cloro, oltre a un'altra quindicina di materiali. E 5 secchi d'acqua.

Questi sono gli elementi fisici che compongono un uomo.

È evidente, quindi, che non sono i materiali ad avere importanza, ma il *modo*
portante l'informazione che c'è dentro.

Quell'informazione che è appunto contenuta nel codice genetico, cioè nei piani di costruzione dell'individuo. E che fa sì che ogni individuo sia diverso da ogni altro.

Anche Leonardo da Vinci, dipingendo la Gioconda, trasformò dei semplici mucchietti di polvere in impasti di colore. Per trasformarli poi in immagini. Grazie a un altro tipo di informazione.

Obbligati a capire

Oggi noi viviamo in un mondo che è proprio il frutto delle trasformazioni che noi stessi abbiamo operato sull'ambiente. L'abbiamo dipinto noi, per così dire, il mondo in cui viviamo. Spesso senza neppure volerlo progettare così come è venuto fuori. Ora, però, dobbiamo viverci dentro, e siamo obbligati a capirlo. Proprio per evitare crisi e collisioni.

Quindi la nostra cultura deve essere capace di comprendere e orientare queste trasformazioni. Per non esserne vittime. Infatti non basta essere intelligenti e colti: bisogna avere una cultura adatta al proprio ambiente. E al proprio tempo. Qualunque esso sia.

Se per esempio noi ci trovassimo di colpo nudi nella foresta dell'Amazzonia, tutta la nostra cultura e tutte le nostre competenze non ci servirebbero a niente. Saremmo in pratica degli analfabeti, facili prede di animali, insetti, malattie, sabbie mobili.

Un indio, invece, saprebbe cavarsela benissimo: saprebbe orientarsi, difendersi dagli animali, trovar cibo, usare erbe medicamentose, evitare i pericoli. Ma, inversamente, questa sua cultura non gli servirebbe a niente se fosse posto di colpo di fronte ai problemi di una società industriale. Rapidamente sarebbe lui a essere vittima delle sabbie mobili.

Il problema è quindi di essere culturalmente adatti al pro-

prio ambiente e al proprio tempo. Cioè avere una struttura mentale che consenta di capire il proprio sistema per dirigerlo meglio. E per vivere meglio.

Sappiamo tutti, per esempio, che uno dei problemi di una società industriale, qualunque essa sia, è quello di procurarsi energia.

Cominciamo col dire che la maggior parte delle fonti energetiche sono in realtà solo tecnologia, cioè struttura. Per esempio il petrolio non servirebbe a niente se non esistesse il motore; perché il petrolio è in realtà solo un componente del motore, una delle tante parti che lo compongono; e così l'uranio non servirebbe a niente senza reattori nucleari, ecc. Ebbene, a parte ciò, anche se l'energia fosse disponibile in gran quantità non servirebbe a niente se il sistema in cui si inserisce fosse privo di un'informazione adeguata.

Tanto per fare un esempio: occorre la stessa quantità di energia, lavoro e fatica per inviare un telegramma con tutte le lettere mescolate (e quindi incomprensibili) oppure per inviare un telegramma in cui le lettere siano nel giusto ordine, e quindi comprensibili.

Analogamente occorre la stessa quantità di energia, denaro e lavoro per costruire un'automobile che non funziona oppure un'automobile che funziona. Basta che due soli fili siano incrociati perché tutto il lavoro sia inutile e il sistema non giri.

Anche nei sistemi biologici, quando l'informazione, cioè la struttura, ha un difetto, un errore, o non è adeguata, tutto il sistema entra in crisi, anche se dispone di cibo e di energia.

In una molecola di emoglobina, per esempio, basta che solo due o tre dei suoi diecimila atomi siano in una posizione sbagliata perché l'individuo si ammali e muoia.

Tutto ciò spiega bene perché dei sistemi complessi, come sono le nostre società industriali, richiedano un continuo flusso non solo di energia ma di *software,* cioè di competenza, creatività, intelligenza: sia se certi modelli si vogliono mantenere, sia (ancor più) se si vogliono modificare o orientare.

Questa informazione che continuamente occorre aggiungere al sistema si chiama, in definitiva, cultura.

Oggi abbiamo molte difficoltà a tenere il passo con questo crescente sviluppo della complessità. Ma se, come sembra ben pochi hanno voglia di tornare indietro nel passato, la soluzione che ci rimane è quella di sviluppare la capacità di gestire il presente, per preparare possibilmente un buon futuro. Più « informato ».

Un animale sociale

Tutti questi problemi si pongono anche perché noi dobbiamo vivere in gruppo. L'uomo è infatti un animale sociale, da sempre. Tutte le tracce che abbiamo dei più antichi insediamenti umani mostrano che la vita era sin dai primordi organizzata su base comunitaria.

Questa strategia di vivere in gruppo non è tipica dell'uomo: molti animali vivono e operano in gruppi più o meno numerosi. Basta pensare ai lupi, ai babbuini, ai leoni marini, ai cervi, alle zebre ecc.

La differenza, naturalmente, è che lo sviluppo umano ha portato a società estremamente allargate ed estremamente specializzate, dove un individuo dipende quasi totalmente dagli altri per la propria sopravvivenza. Noi oggi non sapremmo procurarci il cibo da soli, non sapremmo costruirci una radio o un'automobile, non sapremmo neppure fabbricarci un bottone o una matita.

Nei sistemi che abbiamo costruito, abbiamo inserito talmente tanta « informazione » che la struttura si è dilatata in modo ciclopico, facendo di ogni individuo un semplice elemento di un sistema a moltissimi ingranaggi e livelli.

In questa struttura così complessa e delicata noi siamo però entrati con tutto il nostro paleo-encefalo, i nostri istinti di sopravvivenza e di territorialità, le nostre emozioni, le nostre spinte a prevalere e anche a dominare. E ciò ha continuamente posto, attraverso i tempi, dei problemi di coesistenza. Ne

sono testimonianza tutti i conflitti, le guerre, gli scontri sociali e politici che hanno caratterizzato la storia umana. E anche tutti i conflitti personali che hanno avuto per sfondo dei problemi di dominanza, di posizione. In una parola, di gerarchia.

Anche negli animali che vivono in gruppo questi stessi problemi si sono continuamente posti, sia pure in modo molto più elementare. E osservando le società animali è forse possibile vedere, allo stadio primordiale, alcune delle antiche spinte che influenzano certi comportamenti, e capire, sia pure in modo molto indiretto, cosa bolle anche dentro la nostra antica « caldaia » interna.

È una caldaia che ha origini molto lontane. Infatti, da quando delle forme viventi hanno cominciato a competere tra loro per il cibo, il territorio, l'accoppiamento, si sono sviluppati dei comportamenti che noi definiamo « aggressivi » con una parola un po' generica. E si sono soprattutto sviluppate (nelle specie che vivono in gruppo) delle gerarchie dove il più forte, il dominante, ha precedenza sugli altri nel soddisfacimento dei suoi appetiti, di vario tipo.

Ovviamente non si possono trasferire automaticamente nell'uomo osservazioni fatte sugli animali, in un campo come questo la prudenza non è mai troppa. Tuttavia lo studio del comportamento animale non finisce di sorprenderci e di affascinarci.

Vediamo quindi come gli etologi vedono oggi negli animali questa antica spinta dell'aggressività. E anche come certi servo-meccanismi facciano sì che questa carica aggressiva venga anche automaticamente moderata e controllata, in modo che non diventi auto-distruttiva per la stessa specie.

L'aggressività controllata

(di Danilo Mainardi e Marco Visalberghi)

Per assicurarsi il possesso della femmina le vipere maschio combattono duelli molto suggestivi: si intrecciano l'uno sull'altro formando una vera e propria treccia, e ciascuno dei due

contendenti cerca di spingere verso il suolo la testa dell'avversario. Una volta che un individuo è riuscito a provare la propria superiorità, lo sconfitto abbandona il campo e il duello ha termine. Come si vede, il tipo di aggressività che i maschi usano per risolvere le loro competizioni sessuali è un'aggressività molto ritualizzata: in altre parole, c'è un codice di comportamento che definisce chi è il vincitore e chi il perdente sulla base di una prova formale. È come se due duellanti, invece di ricorrere alla pistola, decidessero di risolvere la questione con un incontro a braccio di ferro. Nello stesso modo le vipere non fanno uso della loro arma più potente, che è il veleno; questo perché, da un punto di vista evolutivo, non è conveniente ammazzarsi nell'ambito della stessa specie. L'animale sconfitto viene semplicemente allontanato, e questo comporta uno spaziarsi degli individui nel territorio.

Ci sono animali tra i quali l'aggressività è ancora più ritualizzata. Se guardiamo i lupi o i licaoni — una specie di cani selvatici che vive in Africa — vediamo che negli incontri aggressivi l'animale sconfitto, invece di fuggir via e allontanarsi, è in grado con appositi segnali di sottomissione di bloccare l'aggressività del vincitore. Sono gli stessi segnali che osserviamo anche nei cani domestici: ripiegare la coda in mezzo alle zampe, abbassare le orecchie, offrire il collo all'avversario, sdraiarsi pancia all'aria per mostrarsi indifeso.

Questi atteggiamenti significano sottomissione: con essi l'animale riconosce la sua sconfitta, e il vincitore, vedendo riconosciuta la propria superiorità, interrompe l'aggressione. Questi meccanismi di controllo dell'aggressività sono il presupposto su cui si fonda la socialità dei licaoni, e permettono loro di convivere pacificamente.

Vivere insieme sviluppa poi tante capacità. I licaoni, per esempio, hanno elaborato una complessa caccia di gruppo. Si sono specializzati nel catturare grossi erbivori come gli gnu. La caccia è molto articolata, e ogni individuo, in collegamento con gli altri, deve fare la sua parte per raggiungere il buon esito finale. Alcuni licaoni hanno il compito di gettare lo scompiglio nella mandria degli gnu, costringendoli a correre

alla rinfusa. Un altro gruppo approfitta del parapiglia per isolare dal folto della mandria una madre con il relativo vitello. Mentre alcuni individui distraggono la madre con finti assalti, i compagni atterrano e uccidono il vitello, che è la loro vera preda.

La grande socialità di questi animali è sottolineata anche da un altro comportamento. Quando tornano al nido dopo la caccia, tutti i membri del gruppo, non solo i genitori, rigurgitano del cibo per i piccoli che hanno atteso nascosti il ritorno degli adulti per tutto il tempo della caccia.

Abbiamo visto quindi che l'aggressività ha la funzione di calibrare la distribuzione territoriale degli animali, spaziandoli in certi casi o calibrandone la socialità nei casi di una ritualizzazione più elevata. Vi sono però diverse altre funzioni, e anche all'interno della stessa specie l'aggressività può assolvere a scopi diversi, a seconda della situazione. Paul Brain, dell'University College of Swansea, nel Galles del Sud, ha studiato a lungo il comportamento del topo.

Con l'uso del video-registratore ha potuto paragonare in modo preciso le diverse modalità di comportamento dei roditori nelle diverse situazioni aggressive. E risultato che quando mettevano insieme due maschi cresciuti in isolamento, i morsi miravano al dorso evitando quasi sempre la testa e l'addome, che sono le zone più vulnerabili dell'animale. Anche in questo caso si può parlare di aggressività ritualizzata, perché lo scopo è quello di stabilire una gerarchia infliggendo il minor danno possibile all'avversario.

Nel caso invece dell'aggressività mostrata da una femmina che difende i suoi piccoli, la situazione è del tutto diversa. In questo caso la maggior parte dei morsi è diretta alle parti più delicate: al muso e all'addome. La femmina combatte con l'unico scopo di infliggere il maggior danno possibile e cacciare così l'intruso.

Uno dei problemi centrali riguardo all'aggressività è capire che cosa suscita il comportamento aggressivo. Una prima risposta è venuta dall'etologo tedesco Konrad Lorenz, che ha elaborato la teoria della cosiddetta appetenza. Si tratta in pra-

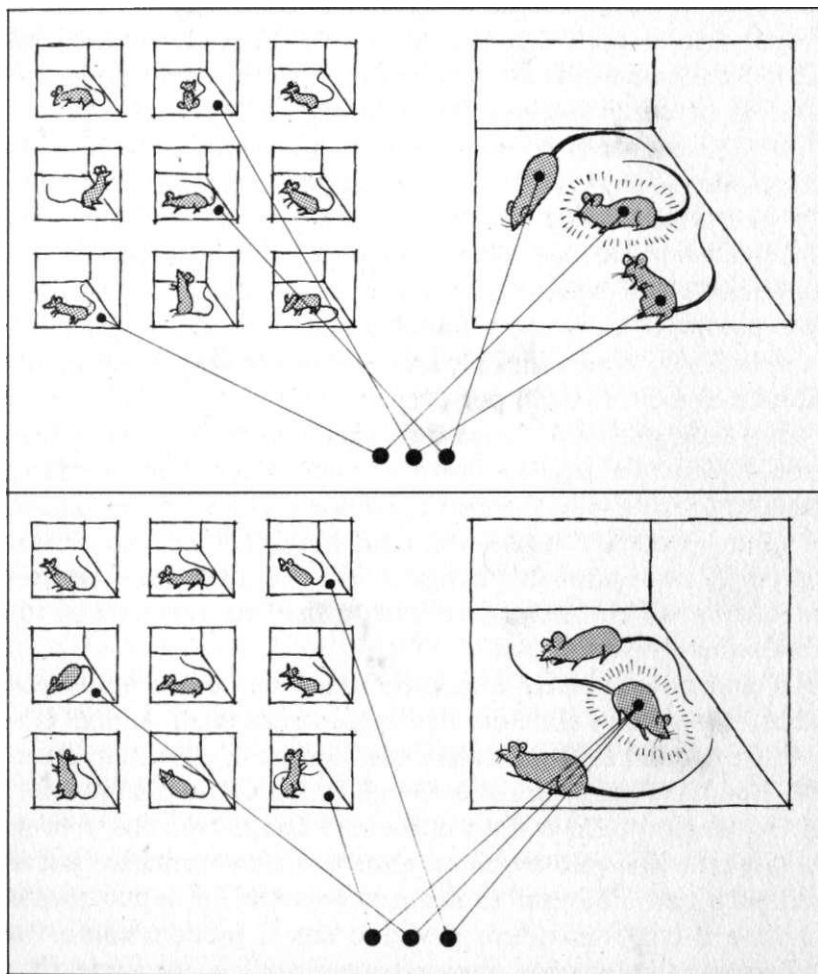
tica di questo: come la fame comporta la necessità di mangiare, così la mancanza di sfoghi aggressivi fa crescere il bisogno di combattere. Negli animali c'è — sostiene Lorenz — un meccanismo interno dove si accumula l'aggressività, e che ad un certo punto costringe l'animale a sfogarla. Una delle fonti di informazioni più importanti, a sostegno di questa teoria, è che se si confronta l'aggressività di animali sociali vissuti in isolamento — privati cioè della possibilità di sfogarsi — con quella di animali vissuti in gruppo, si osserva che gli isolati sono in media più aggressivi.

Recentemente si è andata affermando un'altra teoria contrapposta a quella di Lorenz, che ritiene che a scatenare l'aggressività siano stimoli legati a precise situazioni, in assenza dei quali non sussiste alcun bisogno di sfoghi aggressivi. La ripetizione dell'esperimento di Lorenz sugli animali isolati, in una prospettiva diversa sembra convalidare questa tesi.

Prendiamo il caso dei topi, che è uno dei meglio studiati. Metà dei roditori scelti per l'esperimento vengono allevati in una grande gabbia dove possono vivere avendo normali relazioni sociali. Gli altri topi invece vengono tenuti in gabbiette isolate, senza alcun contatto tra di loro. I topi che vivono in gruppo si organizzano secondo una gerarchia, con un predominante, cioè l'animale più aggressivo che tra le altre sue prerogative possiede anche un odore particolare, e una lunga serie di animali sottomessi.

Il confronto classico, quello compiuto da Lorenz per intendersi, paragonava il livello dell'aggressività degli animali isolati, con quello dei topi scelti a caso tra quelli allevati in gruppo. Risultava puntualmente che gli isolati erano più aggressivi. A questo punto è stato obbiettato che il topo che vive in isolamento non può essere considerato un sottomesso per il semplice fatto che non ha nessuno sopra di lui, e per questa ragione il confronto deve avvenire con il predominante. In questo modo si è visto che un topo isolato è più aggressivo degli animali sottomessi, ma è meno aggressivo del topo predominante che ha dovuto conquistarsi la dominanza. Attraverso molte analisi si è anche visto che sono molte le caratteri-

stiche in comune con il predominante, e una molto significativa è che anche l'animale isolato ha l'odore del predominante, in un certo senso ha scritto chimicamente su di sé « io sono un predominante ».

Caposcuola della teoria anti-Lorenz è Paul Scott, un etolo-

Topi aggressivi. Il confronto classico avveniva paragonando il comportamento aggressivo dei topi cresciuti in isolamento con topi scelti a caso tra quelli allevati in gruppo. I topi isolati hanno molte delle caratteristiche del dominante, per cui il confronto deve avvenire solo con il dominante.

go americano ora in pensione che ha dedicato tutta la vita allo studio dell'aggressività. « Rifiuto la teoria di Lorenz per tre motivi, » sostiene Scott; « il primo è che lo studio della fisiologia interna ha dimostrato che non c'è alcun meccanismo nel sistema nervoso che possa generare un accumulo d'ira costringendo poi l'animale a scaricarla combattendo. Il secondo motivo è che sappiamo che un topo maschio combatte con un altro maschio, ma sappiamo anche che convive pacificamente con una femmina per mesi, senza che sia possibile osservare sforzi per reprimere un crescente desiderio di lotta. Penso che il terzo e il più convincente argomento sia quello di tipo evoluzionistico. La lotta è pericolosa, richiede consumo di molte energie, quindi è controproducente dotare gli animali di un meccanismo che li costringa a combattere in modo coatto in qualunque situazione. »

È opinione comunemente accettata che l'aggressività sia un comportamento iscritto nel patrimonio genetico, sia cioè un carattere ereditario trasmesso di generazione in generazione. Una serie di ricerche molto recenti a livello genetico e ormonale sembra indicare però che anche l'ambiente possa svolgere ruoli decisivi. « L'aggressività è certamente un carattere ereditario, » ha più volte affermato Paul Brain, « ma non dobbiamo commettere l'errore di pensare che si tratti di un carattere rigido come il colore degli occhi o dei capelli. » Si dovrebbe piuttosto parlare di una tendenza all'aggressività, una specie di predisposizione sulla quale agisce poi l'ambiente rinforzando o attenuando la tendenza di base. Le prime esperienze che un individuo fa, uscire vittorioso o sconfitto dai primi combattimenti, possono causare profonde modificazioni nelle sue predisposizioni genetiche. Semplificando molto il concetto del ricercatore inglese, si può dire per esempio che tutti i topi nascono con la tendenza genetica a diventare predominanti, ma la loro predisposizione è sufficientemente ampia da offrire loro una serie di soluzioni di ripiego qualora la conquista della dominanza risulti impossibile o troppo faticosa.

« Io credo che l'aggressione vada vista come un comportamento che offre benefici potenziali, » scrive Brain, « offre cioè maggiori probabilità di ottenere un territorio, o delle femmine, o una posizione sociale; tutti benefici che mirano ad aumentare le possibilità dell'animale di assicurare la propria discendenza. Naturalmente comporta anche dei pericoli: l'animale rischia di venire ferito, spreca del tempo che potrebbe impiegare altrimenti. Potrei affermare che l'animale, anche se inconsciamente, fa una valutazione in termini di costo-profitto di un'eventuale azione aggressiva, e, in base alle sue precedenti esperienze, adotta un comportamento piuttosto che un altro. Questa flessibilità è una caratteristica molto importante del comportamento aggressivo. »

Anche prendendo in considerazione solo i comportamenti aggressivi tra gli individui della stessa specie risulta chiaro che siamo di fronte a un fenomeno complesso dai molti aspetti. Abbiamo accennato alle funzioni a cui assolve e ai meccanismi interni che la regolano; per concludere, vorremmo sottolineare ancora quel concetto di elasticità di cui parlava Brain, riportando uno studio molto interessante fatto in natura dall'etologo belga J.C. Ruwet. Per dieci anni consecutivi ha studiato il comportamento d'arena del fagiano di monte, un comportamento molto sofisticato, legato alla scelta sessuale. Il fenomeno d'arena consiste in questo: all'inizio della stagione degli amori vari maschi si danno appuntamento su di una stessa area, che prende il nome di arena. Ciascuno ha un suo piccolo territorio personale, che difende accanitamente dagli altri maschi con combattimenti molto ritualizzati, gonfia il petto e le penne, cammina minaccioso lungo i confini emettendo versi di sfida. Solo in un secondo tempo arrivano le femmine, che passano attraverso i territori dei maschi attratte dal loro atteggiamento marziale.

« L'opinione ancora oggi diffusa è che su di un'arena il maschio che conquista la posizione centrale, che è più attivo perché corre da una frontiera all'altra per tenere a bada i suoi rivali, è colui che si riprodurrà di più, » dice Ruwet: « il più forte, il più prestante, il Cassius Clay dei fagiani di monte è

colui che otterrà tutti gli accoppiamenti. In realtà un'attenta osservazione di quello che accade su di un'arena anno dopo anno dimostra una situazione del tutto diversa. Non è il maschio più aggressivo che ottiene i maggiori successi, ma il fagiano che possiede il miglior equilibrio tra l'aggressività necessaria a difendere il suo territorio e la capacità di mostrarsi seducente quando arrivano le femmine. »

A fare la scelta sessuale sono quindi le femmine, sono loro che scelgono il maschio con cui accoppiarsi, e Ruwet ha notato che il maschio più aggressivo, quello che riesce a ottenere la posizione centrale, sulle dieci stagioni riproduttive osservate ha ottenuto solo una volta un buon numero di accoppiamenti. Questo dimostra che non sempre è vantaggioso essere i più forti; ogni specie, ogni singolo animale deve trovare un suo equilibrio tra l'aggressività e il controllo dei propri istinti aggressivi. A essere premiata dalla selezione naturale è quindi proprio quella elasticità, quella capacità di adattamento che permette ai singoli animali di calibrare la propria aggressività in funzione della situazione ambientale nella quale è dato vivere.

La gerarchia

Nella vita, naturalmente, occorre sempre questo equilibrio tra forza e gentilezza, tra aggressività e attrazione. Gli individui che incontrano il maggior successo (e non solo con le donne) solitamente sono forti dentro e cortesi fuori.

È un po' come per il pianoforte. Ricordo sempre quello che mi diceva la mia vecchia insegnante di pianoforte: per avere un buon tocco occorrono dita di acciaio in guanti di velluto... Forse anche nella vita è così.

Ma torniamo alla nostra gerarchia. Come si traduce nella società umana questa antica eredità di comportamenti competitivi?

Sappiamo che nell'uomo le gerarchie sono molto più complicate, perché sono diventate anche di tipo culturale. E la

dominanza si esprime non soltanto attraverso l'aggressività o la violenza, ma in moltissimi altri modi, molto più sotterranei e indiretti.

Infatti, quando parliamo di gerarchia e di dominanza, spesso tendiamo a pensare a forme di violenza e di prevaricazione: e effettivamente, come nelle società animali, anche nelle società umane esistono lotte per il predominio basate su metodi cruenti. Ma nell'uomo lo sviluppo delle capacità mentali ha sempre più spostato il problema. Non c'è più bisogno di essere violenti, per salire nella scala gerarchica. La dominanza può avvenire in modo apparentemente pacifico, ma altrettanto efficace.

Si può dominare per esempio con l'astuzia. Ottenendo esattamente lo stesso risultato. Esistono mille modi per riuscire a essere più forti usando il cervello anziché i muscoli.

Del resto gran parte degli uomini in posizione dominante oggi basano la loro forza proprio sulle loro capacità cerebrali. Infatti con l'intelligenza è possibile distruggere un avversario forse ancor più che con la violenza. Anche con la penna si può ferire o eliminare un concorrente forse ancor più che con un pugnale.

Se un tempo i tornei per il predominio avvenivano a colpi di lancia, oggi lo scontro avviene a colpi di parole: i contendenti spesso si affrontano in « duello » con discussioni e dibattiti. Le armi sono diverse, ma il risultato è sempre lo stesso. Basta pensare ai duelli elettorali, fatti da due candidati di fronte a milioni di telespettatori.

Ci sono anche altre strategie per riuscire in questa scalata al successo. Per esempio, anziché la durezza o l'aggressività, a volte funziona meglio la cortesia. Si ottiene di più con un sorriso che con un bastone.

Paradossalmente, la stessa sottomissione può diventare un mezzo efficace di dominanza. Infatti, attraverso l'obbedienza, l'adulazione, l'ossequio o il servilismo, è possibile raggiungere posizioni di potere, propiziandosi il favore dei potenti.

In altre parole la scalata alla gerarchia può conoscere tante strade, tante strategie, tutte diverse e a volte imprevedibili;

esse appaiono assai lontane dall'antica matrice della violenza, ma in definitiva tendono tutte ugualmente ad assicurare un'ascesa nel rango.

Ma questa vocazione a salire nel rango e nella gerarchia è un fatto che riguarda poche persone ai vertici? Oppure tutti quanti, per ragioni biologiche e ambientali, ci troviamo coinvolti (volenti o no) in questo meccanismo?

Bisogna riconoscere che, in una forma o nell'altra, un uomo è praticamente immerso durante tutta la sua esistenza in strutture gerarchiche.

La prima che conosce è quella familiare, attraverso i rapporti di subordinazione con i genitori. E anche attraverso i rapporti con i fratelli, più grandi o più piccoli. A scuola poi ognuno viene classificato con i voti. Nello sport viene classificato con i minuti e i secondi. Nel servizio militare con i gradi. Nel lavoro con lo stipendio e i livelli di categoria. Persino il funerale potrà essere, come i treni, di varie classi.

Dall'infanzia alla vecchiaia

Dall'infanzia alla vecchiaia insomma (magari senza rendersene conto) ognuno finisce per situarsi lungo delle scale gerarchiche. A seconda della sua istruzione, della sua ricchezza, dell'intelligenza, dell'età, dei talenti ecc. Ovunque, in pratica, c'è questa tendenza a classificare gli individui e disporli (anche mentalmente) in un certo ordine.

Nella vita sociale per esempio esistono dei veri e propri tornei per dar la scalata a vari tipi di gerarchie. Esistono dei concorsi per ottenere una carica o un impiego.

O esistono dei concorsi letterari; delle gare di bellezza; delle competizioni sportive; o anche soltanto dei tornei di scacchi.

Esistono ugualmente competizioni sotterranee attorno a una scrivania, a una nomina, a un appalto o a una clientela. In queste gare la capacità si mescola alla furbizia, il merito alla raccomandazione.

Ogni individuo, così, finisce per situarsi (volente o nolente) su certi gradini della scala, con un « sotto » e un « sopra », con superiori e inferiori, con dirigenti e dipendenti.

Ciò finisce anche per creare, per così dire, un relativismo gerarchico. Cioè ognuno è contemporaneamente « sopra » e « sotto ». Per esempio è al tempo stesso padre e figlio. E quindi si ritrova nella situazione di essere dominante rispetto ad alcuni e sottoposto rispetto ad altri. Ciò avviene un po' dovunque: nel lavoro, nello sport, nella società.

Il guaio è che a volte, come in certe società animali, si tende a essere forti con i deboli e deboli con i forti. Uno dei sintomi dello sviluppo di una società è proprio quello di saper educare gli uomini a non piegare la schiena davanti ai potenti e essere invece umili con i deboli.

Ma c'è un mezzo per sfuggire, almeno in parte, a questo meccanismo della gerarchia che sembriamo portarci dentro con la storia della vita e della selezione naturale? C'è un modo, per esempio, per soddisfare questa antica vocazione di salire in alto, ma senza dover domare o dominare altri uomini?

Uno dei modi resi possibili dallo sviluppo del cervello umano è quello di essere dominanti non sugli individui, ma sulle cose.

Per esempio lottare non per vincere un uomo, ma per risolvere un problema, oppure per comporre un'opera, o per scoprire il segreto di una molecola. O per scrivere un libro.

Gli scienziati, gli artisti, e tutti coloro che svolgono un lavoro creativo, esprimono proprio la loro dominanza nei confronti delle cose: cioè possono riversare la loro aggressività, o la loro spinta ad auto-affermarsi, sui virus, sugli impasti di colore, sulle note, su un'equazione, su un testo letterario, o sul progetto di un nuovo motore.

In ogni campo di attività si ritrova questa distinzione tra coloro che cercano di vincere gli uomini e coloro che cercano di vincere i problemi.

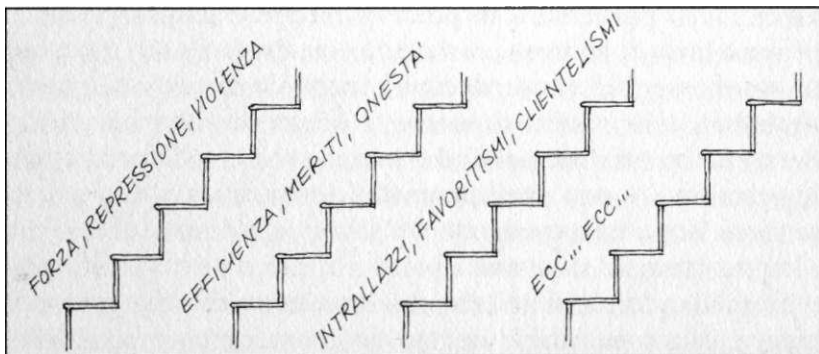
E questa differenza, in fondo, che distingue i gerarchi dai creatori.

Esistono, del resto, anche altri modi per esprimere questa vocazione umana ad auto-affermarsi, senza per questo dover opprimere gli altri.

A differenza degli animali, infatti, l'uomo ha a disposizione altre strade: può elevarsi sempre più in particolari tipi di gerarchie: quelle dei valori e dei meriti. Per esempio conquistando il rispetto degli altri, o arricchendosi spiritualmente, o imponendo le proprie virtù.

E così possibile diventare milionari dell'onestà, primatisti della correttezza, alti dignitari della dignità. In questo modo è possibile salire di rango e di gerarchia di fronte a se stessi e di fronte agli altri senza dover opprimere il prossimo, e senza neppure dover competere sui beni materiali.

In definitiva nell'uomo, se l'antica tendenza ad auto-affermarsi non è scomparsa nel corso dell'evoluzione cerebrale, essa può però esprimersi in modi molto diversi.

Questa spinta vitale, che a livello primitivo può tendere semplicemente a manifestarsi sotto forma di violenza, può in realtà essere dirottata su altri canali e usata come un motore, come un propulsore, per realizzare imprese e obiettivi di altro tipo.

A seconda dei modelli di gerarchie che vengono adottati (e del cocktail dei vari fattori) si avrà un equivalente modello di società.

In altre parole, non possiamo cancellare la caldaia vitale che portiamo dentro di noi da milioni di anni: ma possiamo servircene per scalare le montagne, anziché per schiacciare gli altri.

Utilizzando in modo più intelligente le stesse scariche di adrenalina che operano al nostro interno da milioni di anni.

Lavori a rotazione?

Naturalmente occorre avere l'opportunità di salire queste scale. Perché c'è gente che non è in grado di farlo, e che (per un insieme di ragioni) non riesce ad andare oltre ai primi scalini. Magari ne avrebbe anche i talenti e le capacità: ma la mancanza di occasioni educative, e le circostanze sociali ed economiche, li hanno relegati in fondo alla scala.

Ora, c'è un fatto importante creato da questa struttura a gerarchie: ed è che la tecnologia ha creato una serie di lavori molto ripetitivi, noiosi, e poco gratificanti. Ed è ovviamente chi si trova nel basso della scala gerarchica che finisce per trovarsi a svolgere questi lavori.

In un precedente capitolo dedicato al gioco, veniva messo in evidenza il bisogno quasi biologico dell'individuo di poter continuare a svolgere nella vita (dopo la lunga esperienza del gioco infantile) un'attività ludiforme, cioè un'attività gratificante. E in particolare di poter partecipare con interesse al proprio lavoro. Ebbene, vari studiosi in diverse parti del mondo stanno oggi cercando di capire meglio come si pone questo problema nelle società moderne; e qualcuno comincia a chiedersi se non sarebbe possibile, in una società avanzata tecnologicamente (e assai sviluppata dal punto di vista educativo), tendere verso una rotazione dei lavori sgradevoli, così come in certe famiglie si lavano i piatti a turno.

E un'idea forse un po' sorprendente e apparentemente utopistica. Ma a guardarvi dentro bene emergono una serie di elementi interessanti, sui quali val forse la pena di riflettere. Vediamoli.

Nel corso della sua lunga storia biologica e culturale, l'uomo si è evoluto soprattutto come cacciatore e raccoglitore. Fino a pochi millenni fa i nostri antenati vivevano (così come fanno ancora oggi certe popolazioni) di caccia e di raccolta.

Nel lavoro non esistevano strutture gerarchiche organizzate, analoghe a quelle delle nostre società attuali, per la semplice ragione che, in assenza di tecnologia, non esisteva praticamente quasi una divisione del lavoro. Tutti, più o meno, facevano la stessa cosa. E, a maggior ragione, non esistevano lavori meccanizzati ripetitivi. Si passava dal gioco dell'adolescenza all'attività lavorativa praticamente senza salti, con continuità.

Si sa che l'uomo è per natura un essere molto adattabile, in ogni ambiente e circostanza. E, malgrado questa sua lunga storia evolutiva di cacciatore e raccoglitore, ha saputo poi adattarsi a situazioni del tutto diverse, in un tempo molto breve.

Lo sviluppo tecnologico ha però provocato una serie di contraddizioni. Da un lato, infatti, ha aumentato il benessere e l'educazione, dall'altro ha « parcellizzato » il lavoro creando, proprio per via della meccanizzazione, dei lavori ripetitivi.

E sappiamo che molte rivendicazioni sono state portate avanti, nelle fabbriche, per rendere meno monotono e alienante il lavoro.

D'altra parte l'aumento del benessere e dell'educazione ha creato, soprattutto nelle società più avanzate, un crescente rifiuto dei lavori sgradevoli, manuali. Perché chi studia per lungo tempo, e magari arriva a un diploma, difficilmente accetta poi l'idea di arretrare in quella che considera una posizione più bassa, poco qualificata e poco gratificante, rispetto alle sue aspettative.

Per questo diminuiscono i candidati a lavori poco gratificanti o faticosi: per esempio fonderie, cronicari o ospizi, bracciantato agricolo, lavoro domestico.

L'aumento generalizzato dell'istruzione ha insomma creato

una spinta verso l'alto, nella richiesta e nelle aspettative, contribuendo tra l'altro a influenzare il mercato dell'offerta e della domanda e a creare quella disoccupazione intellettuale che spesso viene segnalata.

Anche dai dati disponibili è possibile rendersi conto che il lavoro intellettuale, cioè quello tradizionalmente più ambito e gratificante, ha perso quota, dal punto di vista retributivo, rispetto al passato.

Da uno studio compiuto dall'economista Paolo Sylos Labini si possono ricavare questi significativi dati, ponendo a confronto operai dell'industria e impiegati statali.

Nel 1880 uno statale guadagnava circa quattro volte e mezzo più di un operaio; nel 1938 il divario era sceso a 3,4; nel 1948 a 2,7; nel 1973 a 1,9; nel 1977 a 1,3.

Un altro economista, Ermanno Gorrieri, è andato a esaminare più in dettaglio cosa è avvenuto all'interno dei vari settori. Per esempio nel pubblico impiego risulta che negli anni '70 (gli anni dell'inflazione) sono state le qualifiche più alte a perdere maggiormente di potere di acquisto. In particolare, tra il 1971 e il 1978

un maestro elementare ha perso	il 6%
un capo stazione	il 17%
un professore di scuola secondaria	il 30%
un preside di 1ª categoria	il 43%
un giudice di tribunale	il 46%
un medico primario ospedaliero	il 53%

Nello stesso periodo l'operaio specializzato dell'industria ha visto aumentare il suo potere d'acquisto del 27%, l'operaio comune del 44%, il manovale edile del 53%, il bracciante agricolo del 77%.

Pur rimanendo ovviamente delle differenze, il ventaglio delle retribuzioni va, insomma, restringendosi.

Se un primario ospedaliero nel 1971 aveva uno stipendio 15 volte superiore a quello di un bracciante agricolo, nel 1978 questa differenza si è ridotta a 4 volte. All'interno del ventaglio le varie retribuzioni si sono analogamente avvicinate.

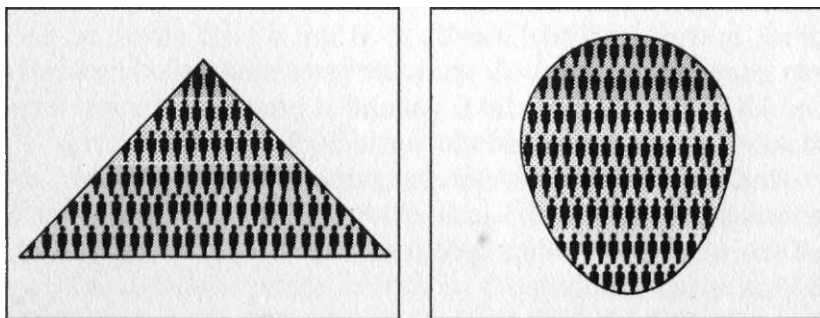
E questo movimento è ancora continuato negli ultimi anni.

Questo tipo di evoluzione è dovuto a vari fattori, naturalmente: non solo alla legge dell'offerta e della domanda, ma anche alle spinte sociali che hanno operato nel paese. Ma riflette anche e soprattutto una trasformazione creata dallo sviluppo tecnologico.

In tutte le società industriali avanzate, infatti, lo sviluppo tende ovunque a modificare la tradizionale struttura gerarchica, per quanto riguarda la divisione del lavoro.

Un tempo questa struttura poteva essere rappresentata grosso modo come una piramide, con un vertice ristretto, dove operava la classe dirigente; qualche fascia intermedia; e una larga base, dove si trovavano gran parte dei lavori umili e faticosi.

Ora questa struttura, in tutte le società avanzate, si sta trasformando: da una forma a piramide sta passando a una forma a uovo. Cioè il vertice si è allargato, si è allargata soprattutto la zona intermedia, e si è invece notevolmente ristretta la parte bassa, quella dei lavori manuali e sgradevoli. Grazie alla tecnologia, infatti, un numero crescente di persone ha potuto essere liberata da questo tipo di lavori, e accedere ad attività più produttive che consentivano anche più alti salari.

Ma la tecnologia non ha potuto eliminare certi tipi di lavo-

Da una struttura gerarchica a piramide, tipica delle società arretrate, si sta passando a una struttura a uovo, dove il vertice si è allargato, e la parte bassa si sta restringendo sempre più.

ro, rimasti ancora, per così dire, in fondo all'uovo. Cioè là dove nessuno vuole più andare.

Questa situazione ha creato varie conseguenze nei paesi più industrializzati e ha creato in particolare un flusso di emigranti dai paesi più poveri ai paesi più ricchi.

Ben lo sappiamo noi italiani, che negli anni '50 e '60 abbiamo visto partire milioni di emigranti verso i paesi del Nord Europa, dove andavano a riempire quegli spazi lasciati vuoti da queste trasformazioni in corso.

Ora questo stesso tipo di trasformazione si sta verificando anche da noi. Negli ultimi anni infatti abbiamo visto arrivare in Italia (cosa senza precedenti nella nostra storia) un flusso di immigrati provenienti dai paesi poveri del Terzo Mondo, giunti qui proprio per riempire (a loro volta) quegli spazi lasciati ora liberi da noi nella parte bassa dell'uovo: operai turchi o africani per le fonderie, braccianti arabi nelle campagne, domestiche filippine o somale per i lavori di casa ecc. Si calcola che vi siano già oggi in Italia circa 700.000 immigrati dai paesi poveri, occupati soprattutto nei lavori più umili e faticosi che gli italiani non vogliono più compiere.

Se questa tendenza continuerà, tra l'altro, non è escluso che possano verificarsi in futuro conseguenze analoghe a quelle già verificatesi in altri paesi, dove il massiccio arrivo di immigrati ha dato origine a tensioni e problemi anche di tipo razziale.

Tutto quest'insieme di cose ha fatto riflettere numerosi studiosi, in varie parti del mondo, e alcuni si sono chiesti se non era giunto il momento di prendere in esame anche un nuovo tipo di tendenza: cioè che si cominci a prendere in considerazione l'idea di una rotazione verticale dei lavori.

Anche in Italia si è creato un gruppo di studio su quest'argomento, promosso dal prof. Aldo Visalberghi, pedagogista all'Università di Roma, e del quale fanno parte economisti, educatori, sociologi.

— Professor Visalberghi, l'idea è quella in pratica di far scendere in fondo all'<uovo> molta gente che si trova nella parte alta in modo che a turno prenda il *relais?*

« Sì, mi sembra che quest'immagine spieghi quella che è l'idea generale. Tra l'altro, va detto che l'<uovo> ha ormai la punta più stretta rivolta verso il basso: cioè i lavori di tipo squalificato necessari in una società ad alto sviluppo tecnologico sono assai ridotti numericamente. Tuttavia non sono eliminabili. Men che meno eliminabili in un periodo di crisi energetica. Il compito che ci prefiggiamo è quello di studiare le possibilità concrete che questa idea può avere dal punto di vista dei risultati economici, delle implicazioni tecnologiche e dell'organizzazione del lavoro. »

— In pratica, come si potrebbe attuare?

« Bisogna dire che esistono già molti fenomeni spontanei di questo tipo: dalla diffusione del *part-time* al fatto che gli studenti secondari e universitari nei paesi avanzati siano spesso i soli a eseguire certi lavori che i lavoratori regolari ormai rifiutano. »

— Naturalmente solo per un breve periodo della vita ...

« Sempre per un breve periodo, che potrebbe in parte essere rappresentato da un tirocinio all'inizio di un'attività lavorativa, anche intrapresa da un laureato, ma che inizia dal basso. Poi si parla molto di alternanza di studio e lavoro nelle scuole e nelle università. E infine vi sono progetti di Agenzie del lavoro che in parte potrebbero assumere compiti del genere. Si parla persino di sostituzione parziale o totale dell'attuale servizio militare con servizi civili e del lavoro. »

Un servizio civile

In Italia un progetto di legge è stato recentemente presentato per la creazione di un servizio civile per entrambi i sessi, destinato a integrare quello militare, e far sì che i giovani, in questo periodo della loro vita, svolgano delle corvées sociali, prestando la loro opera in compiti di assistenza, di sanità o di difesa del patrimonio naturale o culturale.

L'idea è anche quella di dare una fondamentale esperienza formativa. E, a più lunga scadenza, introdurre pian piano nel-

la nostra cultura il concetto, per esempio, che i giovani che vogliono accedere a un'attività intellettuale debbano effettuare un periodo di attività manuale o materiale. In un certo senso, debbano sdebitarsi verso la comunità pagando delle tasse sociali.

Naturalmente è un problema complesso e non può essere risolto facilmente. Ma l'alternativa qual è?

La strada praticamente che oggi noi stiamo scegliendo è quella di far arrivare lavoratori dal Terzo Mondo a svolgere queste mansioni.

Quando però si fanno delle scelte così importanti è bene valutare tutti gli aspetti del problema. E studi come questi possono essere molto utili per capire come sta evolvendo un sistema in movimento. E anche per cercare di capire le eventuali conseguenze.

L'affettatutto culturale

Le profonde modifiche che la tecnologia sta apportando alle nostre società riguardano, del resto, non soltanto i rapporti tra gli individui, ma anche quelli tra le culture.

Si sta andando verso un graduale livellamento non soltanto delle diversità retributive ma anche delle diversità culturali. Anzi, in questo secondo caso le cose stanno andando molto più in fretta. Si sta andando, cioè, verso un appiattimento delle antiche differenze, verso una perdita delle originalità. Un appiattimento che pone certamente un certo numero di problemi.

E vero che il mondo è ancor pieno di mini-pianeti diversi: viviamo in un'epoca in cui gli uomini con l'arco e le frecce sono contemporanei di altri uomini che mettono in orbita satelliti artificiali e trasmettono immagini in mondovisione. Mentre lo Shuttle compiva la sua seconda missione spaziale sono stati scoperti nelle Filippine uomini che vivono ancora sugli alberi, e che non hanno mai avuto alcun contatto con la ruota.

Ma è anche vero che questi ultimi gruppi umani isolati vanno scomparendo. Pian piano, e poi in modo sempre più accelerato, una volta stabilito il contatto, subiranno l'attrazione di questo mondo tecnologico, che può fornire loro utensili, macchine, abiti, medicine. Così come è sempre avvenuto in casi del genere, il loro modo di vivere sarà rapidamente trasformato e distrutto. E più niente rimarrà di un'antica struttura sociale e culturale che ha resistito per millenni a tutte le avversità naturali.

Questo processo è già avvenuto in gran parte del mondo e sta continuando a un ritmo accelerato.

La cosa di cui non sempre ci si rende conto è che lo stesso processo sta avvenendo anche all'interno del cosiddetto mondo civilizzato. Cioè esistono dei modelli culturali che sono prevalenti e che esercitano molta attrazione sugli altri. Essi si espandono rapidamente a macchia d'olio, e finiscono per trasformare profondamente le antiche diversità.

E ovvio che tutto ciò comporta dei rischi. In particolare il rischio della monocultura. Di cosa si tratta esattamente?

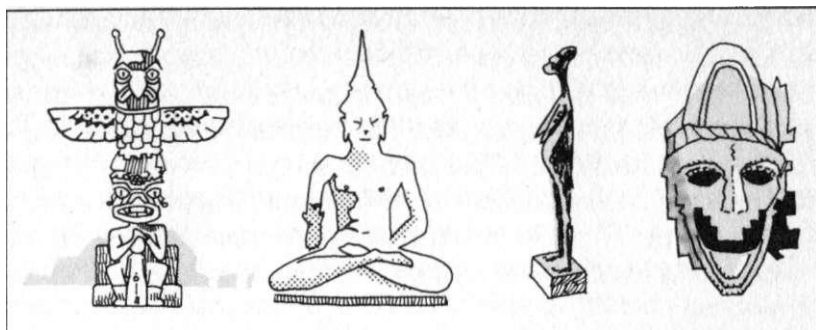
La diversità del passato

Dice un vecchio proverbio: « Il mondo è bello perché è vario. »

E certamente per secoli, per millenni, questa varietà delle culture, dei costumi, delle lingue, dei modi di vivere e di pensare è stata una delle grandi ricchezze del mondo.

Se un viaggiatore avesse fatto, anche soltanto cento anni fa, il giro della Terra avrebbe praticamente visitato pianeti diversi, per così dire: cioè paesi totalmente separati gli uni dagli altri, cresciuti senza sapere ciò che avveniva al di là del loro orizzonte.

Paesi che avevano non solo una diversa lingua e differenti costumi: ma un diverso modo di far della musica, di costruirsi case, di preparare il cibo, di dipingere quadri, di danzare.

Molte di queste cose sono ormai già scomparse, o figurano

Fino a poco tempo fa nel mondo esistevano culture molto diverse, che avevano una propria arte, letteratura, danza, tradizione, lingua. Oggi tutto ciò tende rapidamente a diluirsi in una cultura mondiale uniforme.

soltanto più nei musei. Altre sono in via di estinzione rapidissima.

Culture umane che hanno richiesto tempi lunghissimi per formarsi, stanno cioè facendo la stessa fine di certe forme di vita che si estinguono perché sopraffatte dai cambiamenti ambientali.

Per tutte queste antiche culture il cambiamento ambientale, molto brusco, si chiama: comunicazione.

Comunicazione, nelle sue varie forme: navi, aerei, giornali, turismo, televisione, trasformazioni tecnologiche, scambi, cinema, diffusione dello sviluppo industriale, libri, mostre, viaggi.

Quest'insieme di cose ha creato nel mondo un vasto sistema di vasi comunicanti, che sempre più fa scomparire le antiche diversità culturali, diffondendo l'uniformità.

Gli aeroporti sono già tutti simili, nel mondo; e così pure i grandi alberghi, i treni, le automobili, i condomini, gli stadi, o gli ospedali. Anche gli abiti stanno diventando ovunque gli stessi.

Non solo, ma oggi sarebbe ben difficile capire, per esempio, se un quadro è stato dipinto da un tedesco, da un turco o da un giapponese.

Questa tendenza all'uniformità si estende alla scultura, alla

musica. Persino le diversità linguistiche stanno scomparendo. Oggi poche lingue si stanno imponendo ovunque.

È stato soprattutto lo sviluppo tecnologico e industriale a creare le premesse per questa rapida trasformazione. Dapprima nei paesi più sviluppati, e poi nei paesi del Terzo Mondo. Infatti, ogni essere umano, comprensibilmente, preferisce il trattore all'aratro, il camioncino al cammello e la lavatrice al bucato a mano.

Ma ciò richiede, inevitabilmente, officine, strade, energia, centrali elettriche. E queste cose comportano, a loro volta, un'organizzazione in cui vi siano meccanici, tecnici, contabili, amministratori, segretarie. E naturalmente scuole per formare tutte queste persone: dove si insegni la partita doppia, l'elettrotecnica, la corrispondenza commerciale ecc.

Tutto ciò finisce per modificare ovunque le abitudini, il modo di vivere, di vestirsi, di parlare e di pensare. Sparisce così gradualmente un mondo antico, che è stato quello della Terra per migliaia d'anni. E certi modelli prevalenti finiscono per diffondersi. Sarebbe possibile evitarlo?

In realtà, per mantenere veramente intatte certe antiche originalità bisognerebbe impedire ogni tipo di comunicazione, ogni contatto tra i paesi. Bisognerebbe isolare i gruppi umani, recintandoli in riserve, come si fa con gli stambecchi nei parchi nazionali, e osservarli solo col cannocchiale. Sarebbe una cosa, ovviamente, improponibile. E probabilmente inutile, perché prima o poi il trasferimento di conoscenze e di tecniche avverrebbe comunque.

C'è oggi, un po' ovunque, un tentativo di preservare certe antiche identità culturali, che va naturalmente incoraggiato. Del resto, esistono in molti paesi anche forti tradizioni nazionali, linguistiche, religiose, politiche, che si contrappongono alla rapida diffusione di certi cambiamenti. Ma il rischio è che pian piano il tritacarne tecnologico finisca per erodere e svuotare sempre più le antiche originalità riducendole magari solo a espressioni superficiali; e ciò potrà condurre verso una civiltà mondiale in cui il pericolo di massificazione sarà assai grande, malgrado certe differenze apparenti.

Tutta la storia della vita sulla Terra ci insegna invece che la « diversità » è un valore fondamentale. La ricchezza della vita, infatti, è dovuta alla sua diversità: diversità di enzimi, di cellule, di piante, di organismi, di animali.

Anche per la storia delle idee è stato così. La diversità delle culture, delle filosofie, dei modelli, delle strategie e delle invenzioni ha permesso la nascita e lo sviluppo delle varie civiltà.

Ciò contrasta con un'unica società standardizzata, in cui gli individui, le culture, l'arte e l'educazione siano sempre più uniformati. Anche perché questa tendenza al livellamento è in corso, non solo tra le culture mondiali, ma anche all'interno di ogni singolo paese. Se è vero infatti, come diceva Pasolini, che il ragazzo di borgata oggi non è più riconoscibile, è anche vero che il padrone ha perso, lui pure, la sua antica fisionomia.

E così pure, è diventato più difficile riconoscere un pescatore, o un contadino. Anche le loro facce stanno perdendo le loro antiche particolarità.

La tecnologia, insomma, portando verso una crescente parità, sta diffondendo anche l'uniformità. D'altra parte, come ha detto l'etnologo Levi-Strauss, è illusorio pensare che nel mondo si possa andare verso l'uguaglianza tra gli uomini senza che la loro diversità sia compromessa.

Forse uno dei modi per recuperare, almeno in parte, la diversità, potrebbe essere quello di utilizzare questa rete di comunicazioni per creare, per così dire, nuove « tribù » culturali. Gli scienziati, tanto per fare un esempio, conoscono già questo nuovo tipo di tribalismo. Uno scienziato che studia la biochimica del cervello appartiene già a una comunità che ha il suo linguaggio, le sue riviste, i suoi adepti, la sua cultura. E magari non ha nulla a che spartire con il suo vicino di casa che appartiene a un'altra comunità, che si riconosce per esempio nella filosofia Zen, che ha anch'essa il suo linguaggio, le sue riviste, i suoi convegni, le sue espressioni.

Altri ancora appartengono ad altre comunità culturali, molto differenti tra loro.

In questo modo, la comunicazione potrebbe creare un nuovo tipo di diversità: basata non più su una struttura a isole, ma su una struttura a rete. Ognuno cioè potrebbe essere in grado di scegliere tra un numero crescente di opzioni, di stili di vita, di interessi: globalmente diminuirebbe la diversità nel mondo, ma potrebbe aumentare la possibilità di diversificazione locale.

Naturalmente è difficile prevedere come si svilupperà in futuro tutto ciò. Una cosa, comunque, sembra evidente: noi siamo oggi i testimoni di una grande trasformazione nel mondo. Nell'arco di una generazione la comunicazione ha prodotto più cambiamenti nei rapporti tra le popolazioni che il precedente millennio. In queste condizioni, sembra sempre più difficile che possano ancora svilupparsi nel mondo, come per il passato, culture autonome e originali.

Di fronte al rischio crescente di massificazione, cercare nuove strade per sviluppare la diversità sembra essere un obiettivo importante.

Che richiederà uno sforzo di immaginazione e fantasia.

L'altro versante dell'immaginazione

Immaginazione e fantasia, lo abbiamo visto nel corso dei capitoli precedenti, sono due delle qualità fondamentali per l'uomo: esse permettono di trovare soluzioni nuove ai problemi, di simulare mentalmente cose non ancora entrate nel campo visivo, di creare nuovi montaggi di idee, di inventare, di progettare nuovi modelli e strutture, di apprendere in modo innovativo, e anche di giocare simulando situazioni non esistenti e interpretando personaggi non reali.

Queste qualità sono alla base, fra l'altro, di quelle attività creative, artistiche e di invenzione che hanno caratterizzato così profondamente le culture umane.

Ma immaginazione e fantasia operano non soltanto quando

sono richieste: esse sono continuamente presenti nella scacchiera cerebrale, e intervengono anche in altre situazioni svolgendo un ruolo completamente diverso.

Esse possono cioè creare costruzioni mentali basate su un'errata interpretazione della realtà: possono generare illusioni, fantasticherie, distorsioni del reale, suggestioni.

Vorremmo a questo punto dirigerci quindi verso un campo di ricerche poco conosciuto ma di grande interesse: quello delle illusioni. Cioè delle distorsioni di percezioni e ricordi che creano nel nostro cervello certe costruzioni immaginate che noi scambiamo per vere.

Nei prossimi capitoli parleremo di tre diversi aspetti di questi processi mentali: l'effetto placebo, l'ipnosi e la testimonianza. Tre cose apparentemente assai diverse tra loro, ma tutte collegate da un filo comune. Vediamo.

L'effetto placebo

Il nostro cervello è, come sappiamo, una sala di controllo di tutto ciò che avviene intorno a noi e dentro di noi. Attraverso una serie di punti di osservazione localizzati nelle zone più diverse del nostro corpo, cioè le cellule nervose degli occhi, del naso, della lingua, della pelle, degli orecchi (e naturalmente di tutta la rete di collegamento che invia segnali dall'interno dell'organismo) abbiamo continuamente un quadro d'insieme della situazione.

Tutti questi segnali transitano nel sistema nervoso creando stimoli e sensazioni che vengono smistati in varie parti del cervello e confrontati con precedenti segnali già memorizzati.

L'associazione tra tutti questi segnali (in arrivo e già arrivati) crea probabilmente sul nostro « televisore interno », per così dire, l'immagine di quella che noi definiamo la realtà.

Il processo è naturalmente molto complesso e del resto si sa ancora poco dei meccanismi che creano questi processi mentali. Tuttavia un fatto è certo: a volte la nostra « rappresentazione interna » non corrisponde alla realtà. Cioè costruiamo (o ricostruiamo) cose che sono diverse, spesso assai diverse, da quelle che avremmo dovuto percepire.

L'effetto placebo ci consente di entrare subito in argomento con qualche esempio concreto. Ricordo che quando ero ragazzo mio padre, psichiatra, mi spiegava che se si faceva a dei morfinomani (erano i tossicodipendenti dell'epoca) un'iniezione d'acqua fresca facendo credere loro che era morfina,

essi reagivano come se fosse stata morfina. Cioè l'effetto psicologico di autosuggestione era così forte da indurre a « immaginare » degli effetti che non esistevano, un po' come quella bambina del racconto di Andersen che si scaldava la notte di Natale con due piccoli tizzoni rimasti accesi nel focolare, e che erano in realtà gli occhi del gatto.

Degli studi fatti sui cani dal russo V.E. Delov, un seguace di Pavlov, mostrarono che dopo 20-30 iniezioni di morfina un'iniezione di sola acqua (propinata in condizioni ambientali tali da provocare un riflesso condizionato) poteva determinare in questi cani alterazioni dell'elettrocardiogramma sostanzialmente analoghe a quelle provocate dalla morfina...

Ora, negli esseri umani questi riflessi condizionati possono scattare in modo assai più articolato, perché il numero delle associazioni mentali possibili è sterminato, grazie anche all'esistenza di tanti simboli culturali spesso carichi di significati pregnanti. Basta per esempio che l'individuo « creda » che una certa persona, o un certo oggetto, o una certa situazione abbiano la capacità di produrre un determinato effetto (sia esso un guaritore, un talismano, o un rito) per far sì che tale effetto venga « immaginato » e vissuto psicologicamente come vero. Tutto ciò accade, in particolare, quando il soggetto ha fortemente bisogno di qualcuno o qualcosa che possa aiutarlo. E questa situazione ha creato nelle nostre società una serie di tecniche e di personaggi (specialmente nella medicina, ma anche in altri campi) capaci di produrre appunto un effetto « placebo » (« io ti farò piacere »).

Qualcuno ha cominciato oggi a studiare sperimentalmente questo effetto placebo. E a indagare anche sul ruolo che esso ha avuto nella storia umana.

La pillola dell'illusione

(di Marco Visalberghi)

Il bisogno di trovare conforto e sollievo alle proprie sofferenze ha creato in ogni epoca, in ogni civiltà, presso ogni po-

polazione, una casta molto rispettata e venerata: quella dei medici, per usare una parola moderna. A seconda dei casi, venivano chiamati santoni, guaritori, stregoni, sacerdoti; le loro terapie erano l'imposizione delle mani, pozioni a base di erbe miracolose, riti sacri ed esorcismi. Al di là delle terapie specifiche, però, i pazienti traevano conforto dal loro operato, e li ricompensavano con quella stima e venerazione che ha sempre e ovunque accompagnato la categoria dei medici.

Se con occhi moderni ci volgiamo indietro a osservare le terapie del passato, scopriamo che la fama di cui i medici godevano non era del tutto meritata. Indicativo a questo proposito è il caso di Carlo II, re d'Inghilterra. Intorno al suo capezzale erano riuniti i migliori medici del tempo, e le cronache dell'epoca riportano scrupolosamente la terapia seguita: « Una pinta di sangue fu prelevata dal braccio destro, e mezza pinta dalla spalla sinistra, cui fece seguito la somministrazione di un emetico, di due purghe e di un clistere con quindici sostanze diverse. La testa reale fu poi rasata, e vi fu applicato un vescicante; gli fu fatta inalare della polvere irritativa delle mucose nasali, cui fecero seguito altri emetici e pozioni emorragiche. Un impiastro a base di pece ed escrementi di piccione fu applicato ai piedi, unitamente ad altre pozioni contenenti dieci diversi ingredienti. Infine, furono somministrate quaranta gocce di estratto di teschio umano, e fu imposta a Carlo II la pietra del bezoar. Dopodiché Sua Maestà morì. »

Carlo II non è un caso isolato, anche se il suo alto lignaggio ha certamente contribuito a mobilitare lo zelo degli specialisti del tempo che hanno combinato insieme un complesso di terapie decisamente sorprendente. Il concetto informatore era quello di liberare il corpo dagli umori nocivi che lo invadevano. A questo scopo venivano massicciamente impiegati i salassi, le sanguisughe, le purghe e i vomitativi, e venivano usate una quantità di sostanze atte a provocare irritazioni, vesciche, piaghe ed emorragie. Queste cure spesso si accompagnavano con l'assoluta proibizione di bere.

Non ci si può nemmeno consolare pensando che queste cure fossero riservate ai casi estremi, perché il salasso era una

pratica del tutto normale a cui si ricorreva ai primi sintomi di malessere. Se non si era abbastanza ricchi per pagare il medico, il barbiere era in grado di sostituirlo egregiamente. Cavar fuori il sangue cattivo era considerato un rimedio efficace contro ogni male. Lo testimonia la forte richiesta di sanguisughe: sembra che la Francia, incapace di soddisfare la domanda interna con la sua sola produzione, fosse costretta a importarne qualcosa come due milioni di esemplari all'anno.

Se oggi percorriamo una corsia di ospedale, vediamo una situazione esattamente opposta: accanto ai letti dei malati pendono bottiglie piene d'acqua che servono a idratare i pazienti. La prima preoccupazione della medicina moderna è infatti di ripristinare la perdita d'acqua dell'organismo; spesso basta far questo per salvare delle vite.

Come è possibile allora che i medici per migliaia di anni siano ricorsi a cure che tendevano ad accelerare la morte dei loro pazienti più che a guarirli, come dimostra il fior fiore della scienza medica accorsa al capezzale di Carlo II d'Inghilterra? La risposta, ancora una volta, è che ci troviamo di fronte agli errori dovuti all'uso di un metodo di indagine scientificamente sbagliato. Perché?

I medici del passato provavano a somministrare ai malati le sostanze più strane (le quaranta gocce di estratto di teschio umano fatte suggere a Carlo II sono un esempio): fin qui nulla di male, le scoperte scientifiche sono state talvolta involontarie o casuali, basti pensare alla penicillina. Quello che è mancato è stato però un metodo scientifico valido, capace di controllare l'*efficacia* delle terapie adottate. In altre parole, il medico si limitava a verificare gli effetti delle terapie di nuova invenzione controllando lo stato del malato dopo la cura. Se il paziente guariva o stava meglio, la terapia veniva considerata efficace; ma cosa sarebbe successo senza cure o con una cura diversa?

Un metodo scientifico impone questo tipo di domande, e quando nel Novecento la medicina ha cominciato a compiere questi controlli ha scoperto l'esistenza di un fenomeno di proporzioni tali da annullare di colpo gran parte dei successi otte-

nuti attraverso secoli di tentativi mal controllati. Questo fenomeno è chiamato « effetto placebo ».

L'effetto placebo è l'effetto che una cura ottiene non per la sua efficacia, ma perché riesce a suggestionare il paziente e a mettere così in moto la sua capacità di reagire al male. Si è visto che il potere dell'effetto placebo è tutt'altro che trascurabile: Beecher e Howard dimostrarono che alcuni pazienti che avevano subito gravi interventi chirurgici rispondevano a una iniezione di acqua distillata come se si fosse trattato di morfina. Oggi con macchinari sofisticati è possibile addirittura registrare la scomparsa del dolore provocata da un placebo, da una sostanza cioè del tutto inerte.

Con l'aiuto di strumenti che registrano la risposta ai potenziali evocati si può ottenere la rappresentazione grafica del dolore provato da un paziente prima e dopo l'assunzione del farmaco inerte. Queste prove, unite ad altri esperimenti, sembrano dimostrare che gli effetti benefici legati alla suggestione prodotta dal placebo sono in grado di produrre delle modificazioni a livello fisiologico. Per esempio, nel caso del dolore, il placebo sembra incrementare la produzione delle endorfine, sostanze che il nostro corpo produce per controllare le sensazioni dolorose.

Sappiamo oggi che il 30-40% delle persone reagiscono al placebo come se si trattasse di un vero farmaco, ma non sappiamo però distinguere a priori quali persone reagiscono al placebo e quali ne sono refrattarie; anzi sembra provato che chiunque, a seconda delle circostanze, possa diventare reattivo a un placebo.

Da studi fatti, sostituendo i farmaci comunemente usati in psichiatria con dei placebo, è risultato che più del 55% dei pazienti si sentiva meglio, il 25-30% si sentiva come prima, e il 10-20% si sentiva peggio. Il 60% comunque accusava fastidi collaterali, come nausea, mal di testa ecc.

Naturalmente l'effetto placebo non è legato soltanto al farmaco, può essere messo in moto da qualunque cosa riesca a far scattare le aspettative e la fiducia del paziente. Così l'a-

spetto autorevole del medico, il fatto che appartenga a un istituto di chiara fama e, perché no, anche una parcella esosa, sono tutti elementi che possono giocare un ruolo determinante. Alcuni studi mostrano che la convinzione con la quale un medico prescrive una cura incide in modo sostanzioso sui risultati che la cura stessa otterrà.

Lo psichiatra americano Arthur Shapiro ha dedicato molti anni allo studio delle sostanze e delle terapie usate dai medici del passato, ed è giunto alla conclusione che la grande maggioranza delle sostanze impiegate non avevano nessuna attività diretta sulla malattia. « La famosissima Farmacopea Medica di Galeno che per mille anni è stata accettata religiosamente, e scrupolosamente seguita, comprendeva ottocentoventi sostanze di origine organica, vegetale e minerale. Alla luce degli odierni criteri di efficacia, » scrive Shapiro, « tutt'e 820 andrebbero classificate come placebo. »

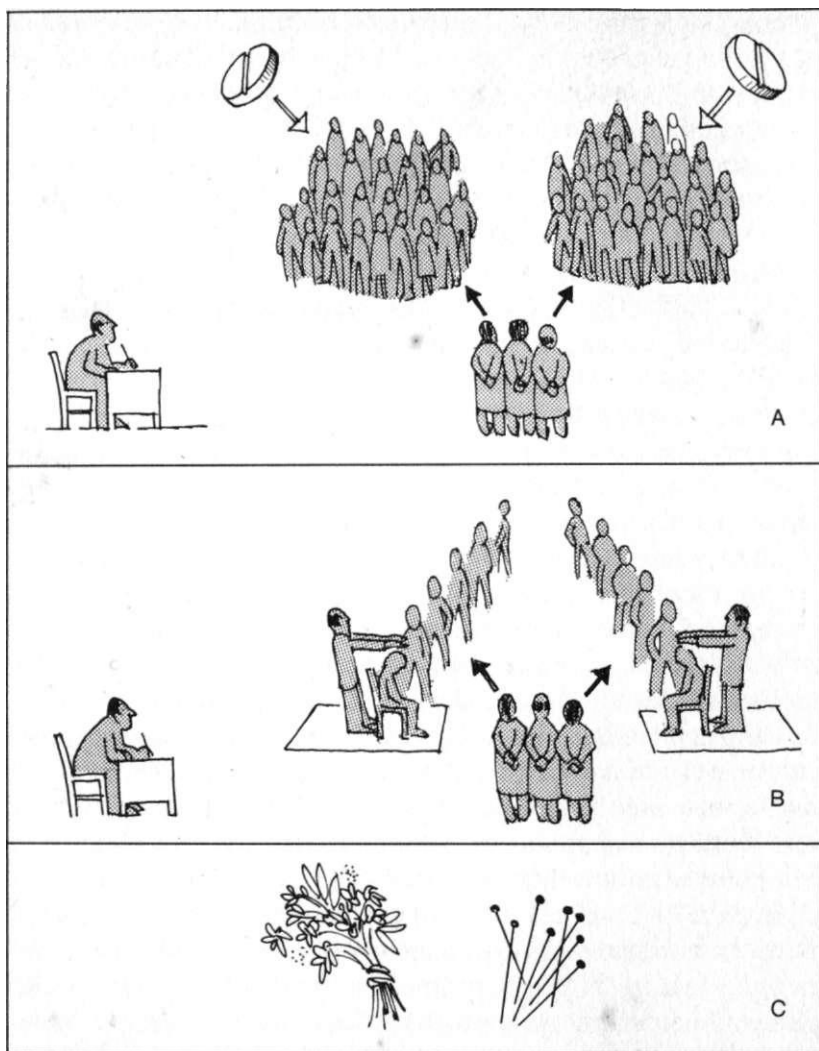
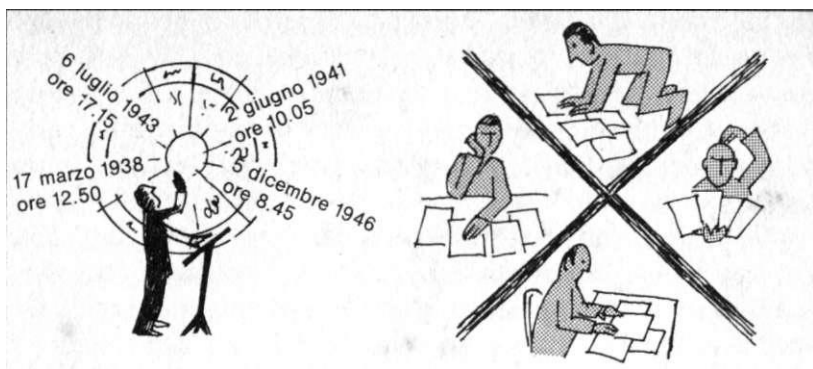
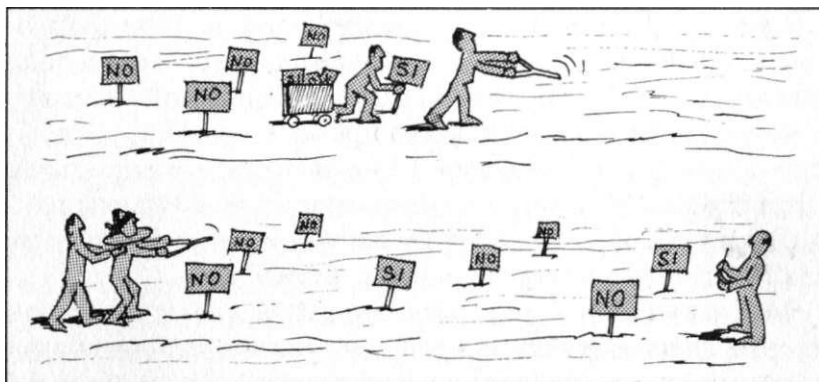
Non c'è sostanza che prima o poi non sia entrata a far parte della prassi medica, dall'urina di vergine alle code di rospo, dallo sterco equino alla radice della mandragora, famosa per fare impazzire chi la raccoglieva. Se poi una sostanza era di difficile reperimento, il prezzo e la rarità mobilitavano ancor meglio la fiducia del paziente. Un rimedio preziosissimo era quella pietra del bezoar che abbiamo visto usare nella cura di Carlo II. La tradizione vuole che fosse la lacrima cristallizzata di un cammello morso da un serpente. Per poter usufruire delle sue virtù magiche, bastava appoggiarla sul petto del malato.

Forse però il rimedio più prestigioso di ogni tempo è stato il famoso corno di unicorno. Considerato una panacea, si credeva che prevenisse gli avvelenamenti, avesse doti afrodisiache e curasse ogni male. Possederne uno era cosa riservata solo ai re e ai ricchissimi feudatari, i meno abbienti si accontentavano di acquistarne un segmento, mentre i poveri potevano tutt'al più aspirare all'acqua che fosse stata in contatto col corno per qualche minuto. Si credeva che appartenesse al leggendario unicorno, animale rarissimo e che nessuno aveva mai visto da

vicino. La rarità rendeva il corno estremamente prezioso: riportato a un prezzo contemporaneo, è stato calcolato che alcuni esemplari abbiano raggiunto la cifra astronomica di oltre mezzo miliardo. Le disgrazie di questo prodigioso rimedio cominciarono allorquando si scoprì che il « corno » era in realtà il dente di una specie di balena chiamata narvalo.

« Tutta la storia della medicina, fino a tempi molto recenti, fino al 1930, è in realtà la storia dell'effetto placebo. Tutti i rimedi del passato, » scrive Shapiro, « salvo rarissime eccezioni del tutto casuali, erano dei placebo, la loro efficacia era la stessa di una pillola di zucchero. »

Fortunatamente oggi esistono delle tecniche che permettono di valutare l'efficacia di un farmaco separando gli effetti prodotti dai suoi principi attivi dall'effetto placebo. Queste tecniche sono chiamate controlli a doppio cieco, e consistono nel prendere due gruppi di pazienti e nel somministrare a un gruppo il farmaco che vogliamo sperimentare e all'altro una pillola identica per colore, sapore e aspetto al farmaco in questione, ma del tutto inefficace, un placebo insomma. Né i pazienti né i medici che seguono l'esperimento sanno quale gruppo prende il prodotto attivo e quale quello finto, in modo che le loro aspettative non possano influenzare i risultati. Il confronto tra i risultati ottenuti nei due diversi gruppi permette una valutazione oggettiva dell'efficacia del farmaco.

Negli Stati Uniti nel 1962 la Food and Drug Administration ha reso obbligatori rigorosi controlli su tutti i prodotti in commercio e su quelli che aspirano a entrarvi. Molti altri paesi, compreso il nostro, si sono, uno dopo l'altro, allineati emanando leggi che imponevano controlli simili. Fino ad allora, le norme vigenti si limitavano a chiedere che un farmaco non fosse dannoso alla salute, mentre oggi, con le nuove norme, questo concetto è stato sostituito con una valutazione del farmaco in base al criterio del rischio-beneficio. Alcuni farmaci presentano gravi effetti collaterali, ma questi effetti possono essere considerati trascurabili se sono ampiamente compensati dai benefici che offrono.

Schema di controllo «doppio cieco». A - Due gruppi di pazienti assumono in apparenza la stessa pillola: ma una contiene il farmaco, l'altra solo farina. Nessuno sa chi ha preso il farmaco, neppure i medici che debbono valutare i risultati (in modo da non essere influenzati). Lo sperimentatore valuterà poi le reazioni dei pazienti e le osservazioni dei medici. B - Lo stesso controllo è indispensabile se si vuol valutare l'effetto di un presunto guaritore (confrontandolo con un attore che si finga guaritore). C - Il controllo «doppio cieco» del resto è indispensabile per valutare tutte quelle cure in cui entra la suggestione personale come l'agopuntura o le erbe. Al gruppo di controllo si possono mettere gli aghi a casaccio oppure dare decotti di erbe non medicamentose.

Il «doppio cieco» si può applicare anche per l'astrologia: per esempio facendo fare a un astrologo degli oroscopi di 4 persone anonime e poi chiedendo a queste 4 persone di riconoscere i propri oroscopi dagli altri. Le prove fatte mostrano che non c'è corrispondenza.

Per la rabdomanzia, si può portare un rabdomante su un terreno e chiedergli, per esempio, di segnare 2 punti in cui c'è acqua e 8 in cui non c'è. Il giorno dopo gli si rivela lo scopo della prova: portarlo nuovamente sul terreno (bendato) e chiedergli se sente acqua o no sui singoli punti. Anche la persona che lo porta non deve conoscere la risposta, per non influenzarlo.

Dopo migliaia di anni in cui il placebo, in tutti i suoi infiniti travestimenti, è stato praticamente l'unico rimedio a disposizione dell'umanità, siamo quindi entrati in una fase nella quale la medicina può offrire qualcosa di più. Ma i farmaci che troviamo nelle nostre farmacie sono davvero tutti efficaci?

All'Istituto Mario Negri di Milano ritengono che le norme di controllo siano decisamente male applicate nel nostro pae-

se. Il professor Gianni Tonioni ha ripetutamente dichiarato che se dal mercato venissero ritirate almeno il 60-70% delle preparazioni oggi in commercio, la salute dei cittadini non potrebbe che trarne sicuri benefici. Sembra quindi che, accanto a un numero ristretto di medicinali di sicuro effetto, ce ne siano ancora molti che hanno le stesse capacità curative del corno di unicorno, delle erbe e della pietra del bezoar; cose che noi, figli della scienza del xx secolo, ritenevamo facessero parte di un lontano passato, e che invece sembra gremiscano ancora le nostre farmacie in versione rivista e aggiornata.

Il ruolo dell'ipnosi

Queste « illusioni » sono sostanzialmente sorrette dalla fiducia del paziente. È insomma una forma di auto-suggestione che opera a livello psicologico, spesso in modo molto potente.

In particolare se si entra nel campo delle cosiddette « medicine alternative » (dalle erbe all'agopuntura) c'è una grande disponibilità del paziente a interpretare in modo immaginativo i risultati della cura. Se poi si entra nel campo dei guaritori e affini la disponibilità è ancor più grande.

Ma c'è un campo in cui l'auto-suggestione può creare vere e proprie distorsioni non solo per ciò che arriva dall'interno del corpo (dolore, sofferenza) ma anche per ciò che proviene dal mondo esterno: è il campo dell'ipnosi.

Dell'ipnosi si è spesso parlato (anche e soprattutto in modo sensazionalistico con l'esibizione di ipnotisti da circo, ciarlatani di professione): è un campo in cui occorre muoversi con estrema circospezione, poiché se è vero che nel nostro cervello possono prodursi vari tipi di alterazione della percezione (basta pensare alle allucinazioni, alle conseguenze delle droghe e dell'alcool o alle stesse illusioni ottiche, e quindi non c'è da sorprendersi se possono prodursi anche alterazioni provocate da auto-suggestione psicologica) ciò non significa tuttavia che si possa ipnotizzare un individuo così come faceva Mandrake nei celebri fumetti.

Oggi c'è molto interesse intorno all'ipnosi non soltanto per il suo possibile uso medico ma anche per l'eventuale utilizzazione che ne può fare la polizia nei suoi interrogatori. Infatti, sostengono alcuni, interrogando un testimone sotto ipnosi sarebbe possibile scandagliare nella sua memoria e far affiorare dei dettagli dimenticati.

È una tecnica valida? O non c'è il rischio di creare in questo modo altre costruzioni mentali immaginate e provocare una testimonianza artificiale?

Il testimone ipnotizzato

(di Marco Visalberghi)

Negli Stati Uniti si va diffondendo l'uso di aiutare i testimoni oculari di fatti criminosi a ricordare particolari dimenticati con l'aiuto delle tecniche ipnotiche. L'idea è che durante lo stato ipnotico il testimone si venga a trovare in una situazione particolarmente distesa e tale da permettere l'affiorare di tutta una serie di dettagli altrimenti dimenticati. La polizia di New York, come quella di molti altri stati, è pronta ad elencare una consistente lista di crimini nei quali l'arresto dei colpevoli è stato reso possibile grazie a dettagli ricostruiti appunto con l'uso dell'ipnosi: alcuni testimoni sono riusciti a ricordare il numero della targa, altri a riconoscere i lineamenti di un volto.

Una parte dell'opinione pubblica è però decisamente contraria: ritiene che in questo modo si corre il rischio di creare dei « testimoni artificiali ». Il modo migliore per dare al lettore un'idea dei termini della discordia è quello di raccontare un caso giudiziario nel quale il maggiore imputato è finito per essere proprio l'uso dell'ipnosi negli interrogatori.

Madison è una graziosa e tranquilla cittadina stretta tra due laghi nello stato del Wisconsin. Il 21 giugno del 1980 la pace tradizionale è turbata da un violento omicidio. Una ragazza di 19 anni viene trovata strangolata e accoltellata nel suo appartamento. Il corpo reca evidenti segni di mutilazioni sessuali.

L'unica traccia in mano agli investigatori locali è la testimonianza di un giovane travestito, Riccie Orebia. Il giovane, mentre era seduto nel portico della sua abitazione in attesa di clienti come ogni sera, aveva notato un uomo sulla trentina scendere da un'auto, attraversare la strada ed entrare nel portone della vittima. Era notte fonda e la luce del lampione male illuminava l'uomo che si trovava ad almeno una trentina di metri di distanza. Qualche tempo dopo, il presunto assassino era uscito dall'appartamento e si era allontanato precipitosamente.

La testimonianza non sembra fornire nessun ulteriore dettaglio. L'unico altro elemento in mano agli inquirenti è il nome dell'ultima persona che ha visto la vittima ancora viva, Ralph Armstrong, un ragazzo originario del Nuovo Messico che si era trasferito nel Wisconsin a seguito di una condanna per sodomia. Il precedente penale « a sfondo sessuale », come lo definirono i giornali locali, fa appuntare i sospetti su di lui senza che esista però alcuna prova o indizio concreto. La polizia chiede a questo punto all'unico testimone, Riccie Orebia, di lasciarsi ipnotizzare per cercare di rinfrescare i ricordi.

Dopo tre ore di sedute ipnotiche, la descrizione di Orebia diventa così precisa da poter riconoscere in Ralph Armstrong l'uomo visto la sera del delitto. Si arriva così al processo, che si trasforma ben presto nella disputa sulla validità o meno del riconoscimento di Orebia avvenuto solo con l'aiuto dell'ipnosi, e confermato poi a posteriori in stato di veglia.

La questione è di estrema importanza perché se l'ipnosi può davvero aiutare a ricostruire i ricordi in modo così preciso, essa offre alla giustizia un contributo di inestimabile valore, ma se al contrario esiste anche solo il sospetto che i ricordi in tal modo affiorati non siano genuini, si corre il rischio di creare dei testimoni artificiali.

Ma veniamo al processo. La difesa chiama a testimoniare Martin Orne, un noto psichiatra americano che da molti anni studia il fenomeno ipnotico. Orne, sotto giuramento, dichiara: « Ciò che distingue gli eventi ipnotici da quelli in stato di veglia è la possibilità di suggerire distorsioni della percezione

o della memoria, che l'ipnotizzato sperimenta effettivamente. Se mentre io le parlo di quella strana parete rosa, » continua Orne rivolto verso il pubblico ministero, « lei fosse in stato di ipnosi, incomincerebbe a vederla. Se invece non è in stato di ipnosi, penserà semplicemente che non ci vedo bene. La differenza quindi va ricercata nel grado di risposta alle suggestioni. »

Fino a questo punto abbiamo parlato di ipnosi e di stati ipnotici come se queste parole avessero un significato unico e generalmente accettato. Nella realtà, definire l'ipnosi sembra essere un'impresa molto ardua e controversa. L'esperto più autorevole sulla questione è uno psicologo della Stanford University, Ernest Hilgard. Hilgard ha dedicato moltissimi anni allo studio di questo fenomeno, cercando di separare l'aspetto scientifico da quello da palcoscenico.

In stato di ipnosi, sostiene Hilgard, le persone si abbandonano alle suggestioni che vengono loro suggerite fino al punto di credere che l'oggetto che hanno davanti agli occhi non esiste o, al contrario, di vedere cose che non ci sono affatto. Possono anche modificare il controllo dei propri movimenti tanto da non essere più capaci di sollevare un braccio. La caratteristica principale, secondo lo studioso americano, risiede quindi nel fatto che l'essere umano è molto suggestionabile, e le tecniche ipnotiche non sono altro che degli strumenti per mettere il soggetto in una situazione di tranquillità, di fiducia tale da poter sfruttare appieno la sua suggestionabilità.

Non tutte le persone, comunque, sono altrettanto ipnotizzabili: si calcola che meno del 30% della popolazione possa raggiungere livelli di ipnosi profonda, e sembra esistere una stretta correlazione tra la suscettibilità all'ipnosi e il possedere doti di immaginazione, fantasia e creatività.

Ma torniamo al processo contro Ralph Armstrong. Orne è ancora sul banco dei testimoni, e l'avvocato della difesa prosegue nel suo interrogatorio.

Avvocato: Dottor Orne, l'ipnosi può aiutare a ricordare cose dimenticate?

Orne: Certamente, l'ipnosi può aiutare a ricordare particolari dimenticati o rimossi, e una volta tornati allo stato di veglia quei ricordi saranno acquisiti. Ma c'è un pericolo: non potremo mai sapere se questi ricordi si riferiscono al fatto dimenticato o se sono quelle che noi definiamo <fabulazioni>. Può darsi cioè che il testimone durante la seduta ipnotica crei dei fatti plausibili per colmare i vuoti della memoria.

Avvocato: È possibile che il testimone venga intenzionalmente o meno spinto verso la creazione di un ricordo particolare?

Orne: Se durante l'ipnosi la spingo a ricordare lei finirà per inventare qualcosa di logico e plausibile in risposta alla mia pressione e si convincerà di ciò che ha inventato. Tornato allo stato di veglia non sarà più in grado di distinguere i ricordi autentici da quelli creati durante l'ipnosi.

Dopo aver ascoltato le dichiarazioni di Orne, sono state mostrate in aula le registrazioni delle sedute ipnotiche a cui è stato sottoposto Riccie Orebia. Uno dei punti nei quali la difesa riscontrava delle chiare pressioni è quello relativo all'altezza del presunto assassino che Orebia ha visto entrare nell'abitazione della vittima. Ecco il brano incriminato.

Ipnotizzatore: Lei sa giudicare l'altezza di una persona, sa dire se è più alta di un metro e ottanta?

Orebia: Sì

Ipnotizzatore: Allora la persona che ha visto entrare, aveva la stessa altezza di uno alto un metro e ottanta?

Orebia: No

Ipnotizzatore: Era più alto?

Orebia: No

Ipnotizzatore: Era più basso allora?

Orebia: Sì

Ipnotizzatore: Fra un metro e settanta e un metro e ottanta?

Orebia: Non direi neppure.

Ipnotizzatore: Cosa direbbe allora?

Orebia: Intorno a un metro e settanta.

Ipnotizzatore: Bene. Bene; ora cerchi di essere preciso,

perché questa questione dell'altezza è molto importante. Preciso fin dove è possibile, s'intende. Non le pare che quello che ha visto possa essere alto come quel suo amico di cui parlavamo prima e che è alto un metro e ottanta?

Orebia: Be', no. Non mi pare. Anche un metro e settantacinque mi sembra troppo.

Ipnotizzatore: Così anche un metro e settantacinque le sembra troppo?

Orebia: Sì, troppo. Forse è più alto di me, ma non supera il metro e settanta.

Ipnotizzatore: Ah, non supera il metro e settanta. Bene. Ora quando l'ha visto era proprio al suo stesso livello? Non lo ha visto per caso dal basso o dall'alto?

Orebia: Be', mi trovavo più alto.

Ipnotizzatore: Dunque lo ha sempre visto dall'alto del portico dove si trovava?

Orebia: Sì, è vero.

Al termine delle tre ore di sedute ipnotiche la descrizione di Orebia corrisponderà a Ralph Armstrong in ogni dettaglio e l'altezza diventerà di un metro e ottantatré centimetri, proprio quella dell'imputato. Si tratta di ricordi recuperati, o piuttosto di ricordi fabbricati durante l'ipnosi?

La domanda è tutt'altro che oziosa; dalla sua risposta dipende l'ammissione o l'esclusione della testimonianza di Orebia come prova a carico di Ralph Armstrong e questa testimonianza è uno dei cardini principali su cui poggia la tesi dell'accusa. Dopo alcuni giorni di accanito dibattito il tribunale di Madison si è pronunciato per la legittimità dell'uso dell'ipnosi per aiutare i testimoni a ricordare. In altre parole ha finito per considerare reale e autentico il riconoscimento di Orebia. Il processo si è concluso con la condanna di Ralph Armstrong all'ergastolo più dieci anni.

Nessuno saprà mai se i ricordi recuperati da Orebia con l'aiuto dell'ipnosi sono reali o frutto della suggestione; c'è però chi sostiene che senza quella testimonianza Armstrong non sarebbe mai stato condannato.

In un famoso esperimento teso a dimostrare la scarsa atten-

dibilità dei ricordi che affiorano con l'uso dell'ipnosi, Hilgard ha suggerito, a un soggetto in stato di ipnosi profonda, che il giorno prima aveva assistito a una rapina a una banca. È bastato questo suggerimento iniziale seguito dall'insinuazione che i ricordi erano forse un po' confusi a causa dello shock ricevuto perché il soggetto cominciasse a fornire la descrizione della banca assaltata, dei connotati dei rapinatori, della dinamica della rapina. Una volta tornato allo stato di veglia il soggetto era convinto di aver vissuto nella realtà gli avvenimenti vissuti solo durante la seduta ipnotica.

Con l'ipnosi è possibile aiutare un testimone a ricordare particolari che talvolta possono rivelarsi preziosi, ma non va dimenticato che a caratterizzare le esperienze ipnotiche è proprio una riduzione del senso della realtà in favore di un abbandono completo alla suggestione. In uno stato simile è molto facile completare i vuoti della memoria creando dei ricordi artificiali che ben presto si mescolano con quelli reali senza che sia più possibile distinguere gli uni dagli altri.

Inoltre il soggetto durante l'ipnosi si affida completamente all'ipnotizzatore a cui devolve il compito di guidare le proprie suggestioni. Da studi fatti sembra che basti talvolta un leggero cambiamento nell'intonazione della voce dell'ipnotizzatore per guidare il soggetto in una direzione anziché in un'altra. Se a condurre l'interrogatorio è un investigatore che si è già formato un'opinione sul caso, è molto probabile che finirà per guidare, magari involontariamente, il testimone verso la sua interpretazione, creando un testimone artificiale nel vero senso della parola.

Un pericolo che il tribunale di Madison ha voluto ignorare, ma che altri stati americani sembrano considerare in modo diverso. Nel tentativo di evitare questi rischi la corte suprema dello stato del Minnesota ha recentemente stabilito che l'interrogatorio con l'uso dell'ipnosi sia condotto da psicologi specializzati del tutto estranei ai fatti in questione. Inoltre vieta in modo categorico ai testimoni che siano stati in precedenza ipnotizzati di rendere testimonianza in tribunale su fatti che siano stati oggetto delle sedute ipnotiche.

Il discorso sull'ipnosi nei casi giudiziari ci porta direttamente al problema più generale della testimonianza e della fallacia umana.

Continuamente, nella vita, noi siamo chiamati a ricordare, riconoscere, ricostruire un episodio o un fatto. Se ciò avviene in un salotto tra amici, e il ricordo da evocare si riferisce a un particolare di una vacanza o di una gita, un eventuale errore non comporta molte conseguenze. Ma se ci troviamo nell'aula di un tribunale e un nostro errore nel ricordare i fatti può far condannare un individuo per omicidio, le cose sono ben diverse.

Possiamo esser obiettivi nei nostri ricordi anche quando siano onesti?

Non è facile rispondere a una domanda come questa. C'è gente che si presenta con molta sicurezza a testimoniare, ritenendo di aver visto molto bene e di ricordare tutto molto bene. Altri, che hanno visto le stesse cose, sono invece molto più incerti e prudenti.

Una questione di temperamento? Certamente sì. Ma alcuni si rendono forse più conto che la nostra capacità di ricostruire un fatto si basa più sulla nostra immaginazione che su delle « fotografie mentali ».

Il nostro cervello infatti non funziona come una lastra fotografica, dove l'immagine di un ricordo viene fissata in modo preciso e può essere più tardi tirata fuori come da un cassetto, magari un po' ingiallita ma sempre fedele. Il nostro cervello funziona piuttosto come un caleidoscopio, dove i frammenti delle cose viste e ricordate probabilmente si « montano » insieme per ricostruire un'immagine mentale. E evidente che se le cose stanno proprio così (e molti indizi lo fanno ritenere), i ricordi che in questo modo noi ricostruiamo mentalmente possono a volte non essere la riproduzione fedele di ciò che abbiamo visto.

E se il ricordo che ne esce fuori è errato possono nascerne dei guai. Vediamo come.

Io sono innocente

(di Marco Visalberghi)

Quante volte abbiamo visto nei film degli anni '50 un testimone che dal banco degli interrogati si alza in piedi e, puntando il dito sull'accusato, dichiara, non senza enfasi melodrammatica: « È lui, lo riconosco, è stato lui a sparare prima di fuggire... »

Spesso a sorreggere la categorica sicurezza di queste affermazioni c'è il ricordo di una scena avvenuta velocemente tra persone che il testimone non conosce. Se vogliamo, è il caso opposto a quello di Riccie Orebia che ricordava troppo poco di ciò che aveva visto, prima che un uso errato dell'ipnosi finisse per suggestionarlo al punto di creargli una memoria artificiale. Il nostro testimone ora è invece sicuro di sé, ricorda tutto perfettamente, con dovizia di particolari, ma è davvero esente dal rischio di forzare senza volerlo l'obiettività dei suoi ricordi?

Diciamo subito che per essere preda di suggestioni non è indispensabile ricorrere alle esperienze ipnotiche. Alcuni anni fa, durante un concerto dei Rolling Stones, che aveva riunito intorno a sé un'immensa folla di appassionati, accadde un fatto cruento: un giovane improvvisamente accoltellò e uccise un ragazzo in mezzo alla folla. La polizia accorsa sul posto cominciò a raccogliere le dichiarazioni dei testimoni. Riempì alcune migliaia di pagine, e al termine di questo lavoro si rese conto che le descrizioni contrastavano le une con le altre. Fortunatamente una *troupe* cinematografica presente all'avvenimento musicale aveva filmato integralmente la scena dell'uccisione, scena che ora fa parte di un film che ha riscosso molto successo tra i giovani appassionati di musica rock: *Gimmy Shelter*.

Esaminando la pellicola, la polizia potè appurare che, fra le persone presenti, quelle che furono realmente in grado di vedere il delitto erano venti, forse trenta. Le altre migliaia di testimoni convinti, erano falsi; il solo fatto di essere presenti a una situazione eccitante, di sentire che tutti ne parlavano, di

avere qualche confuso ricordo di un gesto strano, o di un giovane che correva, li aveva convinti di aver realmente assistito al fatto.

Di fronte a casi così clamorosi vien fatto di difendersi pensando che quelli erano ragazzi « persi tra i fumi della marijuana » che si erano divertiti a spese della polizia. In realtà, siamo di fronte a un caso di autosuggestione collettiva che ha portato alla creazione di migliaia di testimoni artificiali. Come è possibile che questo avvenga? Sono fenomeni che si verificano solo nei casi di grandi concentrazioni di persone, o qualcosa di simile può accadere anche a individui isolati? In altre parole, quanto è attendibile il testimone che dal banco degli interrogati grida: « È lui, lo riconosco »?

Robert Buckout è uno psicologo americano che da molto tempo si occupa della psicologia dei testimoni, non solo sotto il profilo strettamente scientifico, ma anche prestando la sua opera di esperto nelle aule dei tribunali. Lo studioso, per rispondere alla mia domanda, mi ha invitato a ripetere con la cinepresa un piccolo esperimento.

Così in una gelida mattina newyorkese siamo andati sotto la sopraelevata dell'East Side, tanto cara agli scenografi dei film polizieschi americani, e abbiamo ricostruito e filmato un finto delitto.

Ecco la scena ricostruita con gli attori. Un ragazzo intabarrato in un giaccone militare, seminascosto dietro a un pilastro, spia un giovane alto e biondo attraversare la strada con aria infreddolita. Il giovane biondo supera il pilastro di qualche passo, quando improvvisamente il ragazzo col giaccone militare scatta fuori dal suo nascondiglio, urlando qualcosa che si perde nel rumore assordante del traffico; poi lo vediamo estrarre un coltello a serramanico e sventolarlo davanti agli occhi spaventati del rivale. Anche se l'assalitore ci volge le spalle, è chiaro che si sta divertendo a terrorizzare la sua vittima, che poi colpisce ripetutamente al ventre prima di dileguarsi nel traffico.

Avemmo subito conferma della verosimiglianza della scena: alcuni automobilisti inchiodarono l'auto e uno di loro

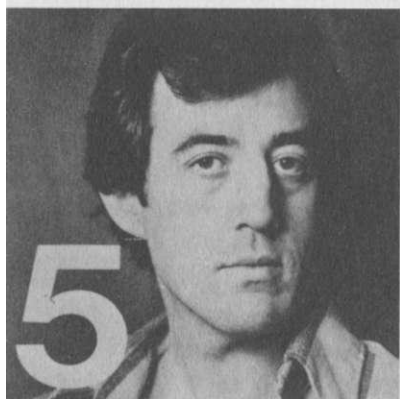
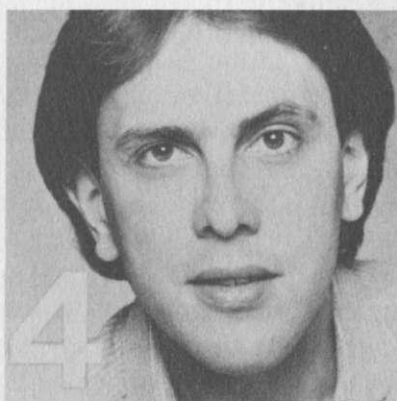
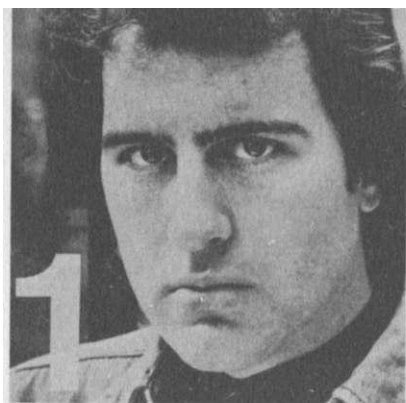
estrasse perfino la pistola. Solo la presenza di due poliziotti che ci erano stati imposti per le riprese permise di evitare il peggio. Secondo quanto ci aveva consigliato Buckout, l'intera scena non durava più di un minuto, e l'assassino dava sempre le spalle: *non lo si vedeva mai in volto.*

Abbiamo quindi convocato un gruppo di otto persone completamente all'oscuro della natura dell'esperimento, e abbiamo proiettato loro il filmato del delitto. Finita la proiezione, Buckout si è rivolto loro dicendo: « Signori e signore, avete assistito a un omicidio e, lo vogliate o no, siete quindi tutti testimoni oculari di un fatto criminoso. Nella mia qualità di ricercatore vi farò più o meno le stesse domande che vi farebbe un ufficiale di polizia. Come prima cosa vi chiedo di riempire questo questionario che comprende domande sull'altezza, il peso, la razza, il sesso, il colore dei capelli, le sopracciglia, il naso ecc., e tutto quello che riuscite a ricordare della persona che ha commesso il crimine. Una persona è stata uccisa, e noi cerchiamo il colpevole. »

A questionari riempiti, abbiamo fatto insieme a Buckout l'esame delle risposte avute. L'esperimento ha dato gli stessi risultati di quelli che Buckout aveva normalmente ottenuto nei suoi studi. Le descrizioni fornite abbracciavano tutta la gamma possibile. Secondo una persona l'assassino era alto più di due metri, secondo un'altra invece non raggiungeva il metro e sessanta; c'era chi sosteneva che il peso si aggirasse intorno ai sessanta chili, e chi assicurava che superava i novanta. Le descrizioni insomma erano discordanti al punto di non fornire alcuna indicazione sicura per l'identificazione del colpevole.

Abbiamo poi mostrato ai nostri testimoni sei foto numerate progressivamente molto simili alle foto segnaletiche della polizia. Buckout ha detto loro: « La persona che avete visto commettere il crimine può trovarsi tra queste sei foto, ma può anche non esserci, Studiatele con attenzione, e diteci se riconoscete tra queste l'autore del crimine. »

Quando siamo andati a verificare le risposte date, ci siamo accorti che, su otto partecipanti all'esperimento, sei erano

1
2
3
4
5
6

convinti di aver riconosciuto il colpevole. Quattro avevano identificato la fotografia numero 2, uno la fotografia numero 3, un altro la fotografia numero 6. Due testimoni invece avevano dichiarato di non essere in grado di riconoscere il colpevole tra le sei foto mostrate.

Nel filmato dell'omicidio, come abbiamo detto, l'assassino non lo si vedeva mai in faccia, ma nessuno dei nostri testimoni si era accorto di questa determinante circostanza. Non solo: gli hanno attribuito un volto, e sei di loro lo hanno preso a prestito dalle foto che avevamo preparato per loro. Un campione di otto persone non è certo rappresentativo, ma viene comunque spontaneo domandarsi come si spiega che sei persone su otto siano cadute così facilmente in inganno.

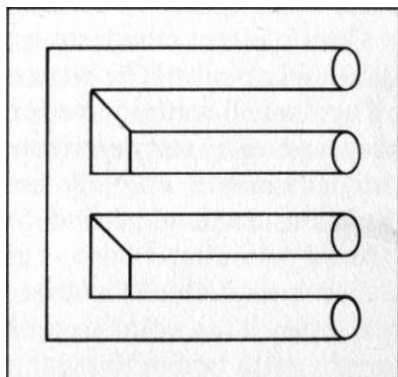
« Per capire come questo possa avvenire, bisogna entrare all'interno dei meccanismi che regolano la visione e la memoria, » ci ha detto Wandall, della Stanford University. « Quando ci guardiamo intorno, gli edifici, i colori, gli oggetti che vediamo, tutto ciò è inventato. E sempre la mente che vede, non gli occhi. Quello che vediamo non è mai uno specifico oggetto fisico, ma la creazione della nostra mente; possiamo quindi dire che la nostra interpretazione degli eventi è più importante di ciò che avviene realmente. Se io le mostro il famoso esperimento del trapezoide rotante, un pezzo di cartone di forma trapezoidale che gira su se stesso, sul quale è disegnata una finestra con tanto di ombre che simulano gli spessori, lei crederà che la finestra giri prima in un senso, poi nell'altro. Questo perché la forma e le ombre che sono disegnate sulle due facce del cartone le suggeriscono con grande decisione l'idea del movimento alternato. Se poi infilassi nella finestra un tubo, dicendole che è di gomma, lei tenderebbe a vederlo divincolarsi. Se invece le dicessi che il tubo è di ferro, lei lo vedrebbe tagliare la finestra a ogni giro. Questo perché lei sa che la gomma è flessibile, il metallo no. Ebbene, tutto questo mostra chiaramente che a seconda delle ipotesi che lei ha in mente vede cose diverse: la mente tradisce la verità delle informazioni che riceve dagli occhi, pur di arrivare a conclu-

sioni che sembrino logiche, e che vadano d'accordo con le sue convinzioni. »

In altre parole, le informazioni che arrivano dagli occhi vengono prima scomposte dalla nostra mente e poi ricomposte cercando di creare un'immagine sensata, un'immagine cioè che abbia un senso logico. Questo è di fondamentale importanza, perché avrebbe poco senso per la nostra sopravvivenza se, per esempio, quando vediamo un'ombra, ci limitassimo a registrare quell'ombra nella nostra mente. Il nostro cervello fa molto di più, scomponendola e ricomponendola la paragona ad altre ombre e forme viste, ed ecco che quell'ombra viene interpretata come la silhouette di una bestia feroce. Magari il nostro cervello ha fatto un'opera di completamento delle informazioni avute dagli occhi, ma quest'opera ci ha comunque salvato la vita.

Ci sono delle illusioni ottiche come il semplice disegno qui sotto raffigurato che mostrano benissimo questo procedimento. Se coprite la metà di destra avete un'immagine; se coprite quella di sinistra, la vostra mente costruisce un'altra interpretazione, e se poi osservate le due metà insieme, avrete un senso di fastidio dovuto proprio al contrasto tra due interpretazioni diverse e incompatibili.

Quindi è sempre la mente che crea, che inventa. Questo vale anche per i testimoni oculari, quando identificano una persona come l'autore di un crimine. In questi casi, sono spes-

so in possesso di scarse informazioni, hanno visto un volto di sfuggita, della gente che si muove in lontananza, il criminale che si confonde tra la folla. Sulla base di questi piccoli frammenti la loro mente costruisce una sequenza logica e completa, che diventa il loro ricordo.

Torniamo ora al nostro esperimento. A questo punto entra in gioco un'altra variabile, mi ha spiegato Buckout, perché se fino adesso abbiamo preso in considerazione i meccanismi interni di ciascuno di noi, non vanno dimenticati gli effetti di quello che gli esperti chiamano la « pressione sociale ». Il testimone infatti sente intorno a sé tutti, dall'opinione pubblica alla polizia, al suo stesso senso civico, lo spingono a ricordare; e questo non fa altro che aiutare quei processi interni che abbiamo appena visto.

« La polizia dal canto suo è convinta, » dice Buckout, « che nella testa di un testimone ci sia una fotografia degli avvenimenti, e lo spinge a ricordare; il testimone spesso cede alla pressione, e inventa in perfetta buona fede un ricordo che non ha. »

Per controllare il potere di persuasione della « pressione sociale » abbiamo chiesto agli unici due testimoni che non avevano riconosciuto il colpevole tra le foto, di mettercela tutta, perché (abbiamo detto loro) la polizia aveva arrestato un sospetto la cui foto si trovava tra le sei che avevamo mostrato loro. I risultati non si sono fatti attendere; dopo pochi minuti di riflessione, entrambi i testimoni si sono detti quasi sicuri di avere riconosciuto nella foto numero tre il colpevole.

Questo piccolo modesto esperimento ha messo in luce quali sono i meccanismi che possono falsare i ricordi di un testimone oculare. Il testimone è fondamentalmente onesto, e fa del proprio meglio per descrivere cosa è accaduto, ma i meccanismi della mente, uniti alla pressione dell'ambiente, lo spingono inconsciamente ad andare ben oltre quello che i suoi veri ricordi permetterebbero. Una volta però che ha scelto una foto come quella del povero Signor Tre, per esempio, nella sua testa c'è un volto completo in ogni particolare. Solo che questo volto non deriva dal ricordo del delitto, ma dalla foto

della polizia. Quando dal banco degli imputati affermerà: « È lui, lo riconosco! », su cosa si baserà il suo riconoscimento?

Il metodo della scienza

Questo discorso sulla fallacia della testimonianza umana ci porta a un punto obbligato, specialmente in un libro come questo.

Molto spesso, infatti, parlando di scienza e di ricerca emerge una domanda apparentemente semplice e quasi ingenua, ma in realtà molto complessa: che cos'è la scienza?

La scienza, in un certo senso, si trova anch'essa nella scomoda posizione del testimone: deve riferire su fatti e osservazioni, e deve riferirne nel modo più oggettivo possibile. Definire cos'è la scienza significa quindi, implicitamente, definire anche come si deve procedere per realizzare quest'obiettivo. Cioè quale è il metodo da seguire per fornire delle « testimonianze » attendibili.

È un antico problema intorno al quale si è dibattuto parecchio. I filosofi della scienza, in particolare, hanno scritto molto su quest'argomento. Non è qui ovviamente la sede per allargare troppo questo discorso, ma alcune cose possono forse essere ricordate, perché il metodo che adotta la scienza nel suo procedere è forse una delle conquiste più meritorie del pensiero umano (e in ogni caso una delle ragioni che più mi hanno attirato verso la scienza...).

Il fatto è che malgrado le continue discussioni e controversie (a volte molto accese), nel mondo della ricerca, esiste un metodo che viene internazionalmente onorato, esiste un linguaggio (e una mentalità) comune, esistono delle regole che tutti rispettano. E se qualcuno ha ragione, e lo dimostra, tutti finiscono per accettare le sue idee, magari rinunciando alle proprie.

E proprio grazie a questa metodologia che la ricerca scientifica ha potuto fare balzi da gigante negli ultimi due o tre secoli, e in particolare in quest'ultimo secolo.

In passato, e ancor oggi, si è spesso tentato di definire cosa è in realtà la scienza. Diderot si rendeva conto della difficoltà di questo tentativo, e nella introduzione della sua celebre Enciclopedia, alla fine del '700, affermava che non esiste una definizione che possa darne un'idea precisa ai non iniziati. Alcuni decenni or sono, come ricorda il filosofo della scienza Ludovico Geymonat, un valente e ben noto studioso di geometria, l'americano Oswald Veblen, proponeva per la sua scienza la seguente paradossale definizione: « Geometria è ciò che viene ritenuto tale da un numero abbastanza grande di persone competenti... »

In modo assai simile l'inglese Peter B. Medawar, Premio Nobel per la biologia, ha cercato recentemente di aggirare l'ostacolo delle definizioni proponendo per lo scienziato una definizione apparentemente ovvia, ma non troppo: chi è lo scienziato? chi si comporta come tale... E viene subito voglia di adottarla per le implicazioni che si intuiscono dietro questa semplice formuletta.

Quali debbono dunque essere questi comportamenti? Una delle qualità che sembrano balzare evidenti dalla pratica quotidiana, affinché lo scienziato possa svolgere bene il suo lavoro, è il dubbio: chi ha troppe certezze sulle proprie idee e sui propri risultati rischia di smarrirsi.

Diversamente da quanto accade nelle ideologie e nelle religioni, il punto di partenza è rovesciato: non ci sono verità assolute ma piccole verità transitorie, utili solo per andare avanti e sostituirle al più presto con altre, che attendono di essere scoperte. Le cose acquisite, cioè, sono sempre da considerarsi provvisorie, o comunque da essere inserite in un sistema in movimento, sottoposto a frequenti cambiamenti in prospettiva.

L'atteggiamento di continuo dubbio, di continua verifica e autocritica è, bisogna dirlo, un atteggiamento abbastanza anomalo, nel comportamento umano. Quante volte avete sentito dire a un politico o a un uomo di fede: « Hai ragione,

le mie idee erano sbagliate; la tua dimostrazione è convincente »? Probabilmente mai.

Questa sostanziale umiltà, questa disponibilità a cambiare idea (ed eventualmente a rinunciare alle proprie teorie se qualcun altro le dimostra errate) sembra contrastare non poco con la natura umana. L'uomo infatti tende sempre a ritenere le proprie idee fondamentalmente giuste: non solo in politica o in economia, ma in tutti quei campi in cui il giudizio personale conta. Ed è molto difficile far cambiare parere a un individuo.

Inevitabilmente questo aspetto della natura umana emerge talvolta anche nello scienziato: per esempio può capitare a un ricercatore di incapricciarsi di un'ipotesi e di non accettare una risposta sperimentale che la contraddica. Però un tale atteggiamento può sciupare preziosi anni di lavoro, e alla fine danneggiare gravemente la reputazione del ricercatore.

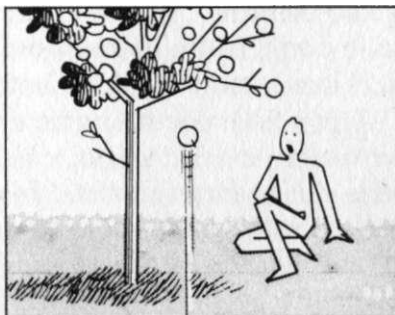
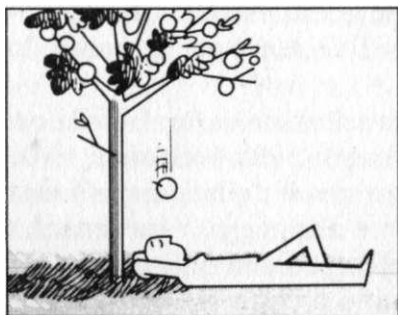
La scienza, insomma, è un po' come lo sport: per quanto si possa essere affezionati ai propri campioni e alla propria squadra, sono poi i risultati che contano. E se qualcun altro corre più veloce, salta più in alto o segna più punti, tutti devono finire per riconoscere il suo primato (almeno provvisoriamente, in attesa che qualcun altro ottenga nuovi risultati ancora migliori).

L'unico problema è naturalmente quello di stabilire un adeguato controllo, per verificare che questi risultati siano genuini, e non il frutto di un errore. Nella scienza questo controllo si chiama: metodo sperimentale.

Tutto ciò ha dato origine a una selezione naturale delle osservazioni e delle teorie, e ha permesso una evoluzione delle idee che ancora continua. In altre parole, quando si afferma qualcosa bisogna portare le « pezze d'appoggio » sperimentali, con i dati e la descrizione dell'esperimento, in modo che chiunque possa ripeterlo, verificarlo o criticarlo. E, analogamente, quando l'esperimento passa le forche caudine delle critiche (e conferma la teoria che lo ha ispirato) gli altri debbono accettarlo oppure motivare in modo documentato la loro opposizione.

C'è anche di più. Perché una teoria possa essere considerata scientifica, afferma Karl Popper (che è forse oggi il più noto filosofo della scienza), deve poter prevedere un esperimento che, se riuscisse, potrebbe smentirla (« falsificarla »). Cosa vuol dire? Semplicemente questo: noi sappiamo per esempio che, in base alla gravitazione universale, le mele cadono dagli alberi. Ecco quindi l'esperimento che potrebbe smentire le leggi di Newton: un esperimento che dimostrasse che le mele possono anche *risalire* sugli alberi.

Se si riuscisse a fare un tale esperimento (anche con una sola mela) le teorie di Newton sarebbero « falsificate ». Le sue teorie, dice Popper, sono quindi scientifiche perché sono falsificabili.

La psicocinesi invece (una delle « specialità » della parapsicologia) non è in grado di produrre un esperimento falsificabile. Essa afferma che a volte (ma nessuno l'ha mai visto sotto controllo) certi oggetti possono muoversi da soli e levitare. Al limite, quindi, una mela potrebbe risalire sull'albero... Ma anche ammesso che si volessero prendere per un attimo sul serio i racconti fantasiosi di queste persone, come si potrebbe organizzare un esperimento capace di falsificare la loro teoria?

Le mele cadono dagli alberi. Da questo fatto Newton ha tratto la sua teoria di gravitazione universale. Ma le mele risalgono anche sugli alberi? Nessuno lo ha mai visto. Per proporre cose come la levitazione o la psicocinesi (che contraddicono la gravitazione) occorre almeno *una* osservazione sotto vero controllo. Altrimenti ognuno potrebbe affermare qualunque cosa.

Non è possibile. Perché anche se si ponessero sotto controllo tutti i meli e i meleti del mondo per un anno intero qualcuno potrebbe sempre dire che una levitazione è avvenuta l'anno prima, o avverrà l'anno dopo, oppure che non si è osservato bene un certo melo che si trova nel Tibet, ecc..

Si tratta quindi, secondo la definizione di Popper, di una teoria non scientifica poiché non è falsificabile.

Del resto, quando si esce dalla sperimentazione tutto può essere detto o sostenuto. Io posso dire che mia zia salta 8 metri e 60 con l'asta: ma se non lo dimostro davanti agli altri (e quindi, giustamente, questo presunto risultato non viene omologato), non posso atteggiarmi a vittima di una congiura. Gli altri, anzi, hanno tutte le loro buone ragioni per diffidare di me e di un tale modo di agire, perché tutto il passato è pieno di esempi del genere, anche illustri.

Si sa infatti che in passato, prima di Galileo, c'era tendenza a dare al mondo delle idee una posizione preminente rispetto a quello della sperimentazione. E grandi uomini della storia, come lo stesso Aristotele, sono stati in seguito severamente criticati, poiché molti hanno visto nel loro modo di impostare la scienza un forte ostacolo all'avanzamento del sapere. Già nel '600 il filosofo inglese Joseph Glanvill scriveva a questo proposito: « Aristotele non utilizzò gli esperimenti per avvalorare le sue teorie ma dopo averle arbitrariamente postulate egli si comportò in modo da forzare l'esperimento, per suffragare e sostenere le sue precarie proposizioni. »

L'esperimento, naturalmente, deve invece essere visto come un setaccio destinato a eliminare impietosamente le idee sbagliate o le ipotesi non corrette. È il « cimento » galileiano, cioè la prova cui bisogna sottoporre qualunque tesi. Per trovare una conferma, oppure per modificare la teoria. O per abbandonarla. Una verifica critica che, del resto, vale anche purtroppo in ogni istante della vita di uno scienziato, persino quando egli ha conquistato fama di grande sapiente: niente, infatti, lo salva da un possibile errore.

In proposito ricordo di essere rimasto molto colpito, parecchi anni fa, agli inizi di questa mia attività, nel vedere negli

Stati Uniti un ricercatore di fama mondiale sottoporre, come chiunque altro, i suoi nuovi progetti a una severa commissione in vista dell'ottenimento di nuovi fondi. La selezione naturale nella scienza opera infatti non solo nei confronti delle teorie e degli esperimenti, ma anche nei confronti degli uomini. I meriti passati non contano: ogni volta bisogna ricominciare da capo. Come nello sport, appunto.

Ma se il metodo sperimentale rimane la strada maestra della ricerca, molto si è discusso (e molto si discute ancora) sulle relazioni che debbono esistere tra teoria ed esperimento. Come si debbono coniugare insieme questi due elementi fondamentali della ricerca?

Teoria ed esperimento

C'è una netta tendenza oggi a ritenere che, se è vero che nella ricerca scientifica l'esperimento rappresenta il momento importante della verifica, in realtà il vero processo della *conoscenza,* probabilmente, non appartiene alla fase sperimentale. Anzi, l'osservazione pura, l'esperienza oggettiva non esiste, sostengono oggi molti autorevoli filosofi della scienza. Dietro ci deve sempre essere un'idea. In altre parole l'esperimento è uno strumento di lavoro, un attrezzo indispensabile, ma il vero laboratorio in cui si produce conoscenza è quello mentale, quello delle idee.

Secondo Gaston Bachelard, infatti, la conoscenza consiste in realtà nella graduale rettifica delle teorie precedenti. Dal canto suo Karl Popper afferma che una teoria scientifica non prende mai l'avvio da osservazioni ed esperimenti, ma dalla critica di altre teorie. Il processo, quindi, si produrrebbe piuttosto in senso inverso: non dall'esperimento alla teoria, ma viceversa.

Occorre naturalmente fare bene attenzione qui a non confondere le cose: non si tratta affatto di ridare, in qualche modo, una nuova supremazia alla teoria relegando in secondo piano l'esperimento. Piuttosto si vuol sottolineare che il punto

d'attacco, il bastione da assalire è la teoria, poiché una volta espugnata con la forza dell'esperimento, diventa possibile issare sul torrione una nuova bandiera (che altri cercheranno di espugnare con altri esperimenti).

Quindi non basta costruire teste d'ariete, scale volanti e catapulte: bisogna sapere bene cosa colpire, bisogna sapere come sono costruiti i bastioni nemici e anche adeguare allo scopo le armi d'attacco.

Non solo, ma c'è in tutto questo anche un aspetto pratico. Se per esempio andiamo in campagna dicendo a noi stessi: « Oggi voglio osservare la natura e fare esperimenti per scoprire nuove cose ed elaborare nuove teorie », probabilmente torneremo a casa senza aver trovato niente. Se invece ci diciamo: « Oggi voglio verificare se i nidi di uccelli hanno un orientamento spaziale in qualche modo collegato col campo magnetico terrestre; o se le zanzare stanno lontano dalle piante di basilico », ecco che partendo con una certa ipotesi (o teoria) noi abbiamo più probabilità di scoprire qualcosa. O di smentire una precedente teoria.

Dice in proposito il Premio Nobel P. Medawar: « La verità non si trova in natura in attesa di manifestarsi, e non ci è dato sapere quali osservazioni saranno significative e quali no. Il compito quotidiano della scienza non è quello di andare alla ricerca di fatti, ma di valutare delle ipotesi. È l'ipotesi che guiderà lo scienziato verso determinate osservazioni e gli suggerirà particolari esperimenti. »

Naturalmente, però, succede che partendo in una certa direzione si facciano, casualmente, osservazioni di altro tipo, che portano a scoperte del tutto impreviste: la storia della scienza è piena di questi casi. Ma sempre dietro l'osservazione c'era l'idea: cioè il fenomeno osservato, anche per caso, veniva a inserirsi (o a contraddire) in un sistema teorico senza il quale l'osservazione non avrebbe avuto utilità e significato.

In questo suo affascinante e straordinario lavoro (e possibilmente anche al di fuori del suo lavoro) il ricercatore deve naturalmente usare lo strumento più prezioso che esista dentro la sua macchina per pensare: la razionalità.

« La razionalità, » dice ancora Medawar, « porta con sé l'obbligo professionale di combattere le attuali tendenze irrazionalistiche: non solo la capacità di piegare i cucchiai o i suoi equivalenti filosofici, ma l'inclinazione a sostituire una conoscenza <rapsodica> al ragionamento metodico che ha soddisfatto fino a oggi i grandi pensatori del mondo. »

Compito non facile, in un mondo in cui ha tanto successo il culto della « sragione » e dove, come ha detto giustamente qualcuno, la vittima immolata, anziché della vita, viene privata del buon senso...

L'accumularsi del sapere e il progresso della conoscenza (vale sempre la pena di ripeterlo) ha potuto diventare assai più rapido da quando non ci sono più nella scienza portatori di verità assolute, ma solo ricercatori che tentano di rischiarare col lanternino quel poco o quel molto che l'intelligenza riesce loro a far capire.

Non per nulla molti condividono le ultime parole di un altro Premio Nobel in biologia, Jacques Monod, parole apparentemente molto semplici, ma che esprimono tutto un modo di essere e anche uno stile di vita: « *Je cherche à comprendre.* » Un buon consiglio. Anche fuori dalla scienza.

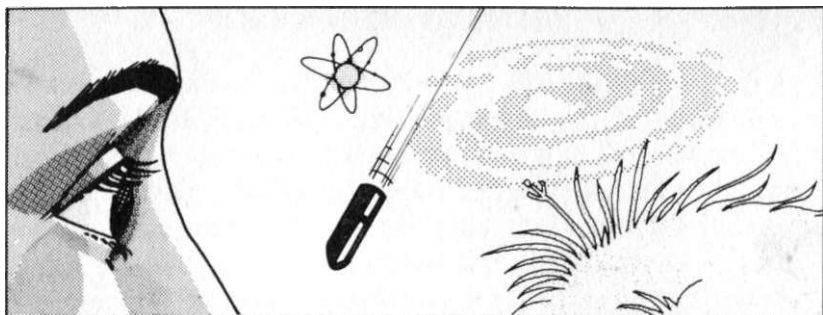
È con questo metodo, seguendo questa strada razionale e sperimentale, che la ricerca va avanti in tutti i laboratori del mondo, portando le sue « testimonianze ». E in questa seconda parte del libro parleremo ora di molte ricerche in corso nel campo della fisica e della biologia, prima di passare ai problemi che lo sviluppo scientifico e tecnico pone all'uomo moderno: cioè l'impatto della tecnologia nelle nostre società, i bisogni crescenti di energia, gli squilibri della crescita, i rischi di nuove guerre e le nuove frontiere dello sviluppo. Tutti problemi che sarà difficile risolvere con quell'atteggiamento irrazionale che spesso contraddistingue le nostre scelte e i nostri comportamenti nella vita sociale ed economica.

Vedere l'invisibile

Il lanternino della razionalità ci è necessario più che mai, quando cerchiamo di capire delle cose invisibili.

Invisibili perché si trovano oltre l'orizzonte del tempo (per esempio le cose del futuro, che non sono ancora entrate nel nostro campo visivo, ma che dobbiamo sforzarci di comprendere per gestire meglio il nostro sviluppo) oppure invisibili perché si trovano oltre l'orizzonte dello spazio. Noi viviamo immersi in un mondo che in gran parte non riusciamo a vedere, perché la nostra vista è limitata: non vediamo gli atomi, non vediamo le galassie lontane. Non vediamo l'aria, non vediamo le molecole dell'acqua e neppure i geni del nostro patrimonio genetico.

C'è anche un orizzonte della velocità, oltre il quale la nostra vita non riesce a spingersi: non riusciamo infatti a vedere le cose troppo rapide o troppo lente. Per esempio non riusciamo a vedere una pallottola che esce da una pistola, né riusciamo a veder crescere l'erba.

In passato, tutto ciò che apparteneva al mondo del non visibile, dalla struttura della materia a quella della vita, a quella dell'universo, era avvolto dal mistero e lasciava spazio a interpretazioni di ogni tipo. Negli ultimi tempi una grande quantità di strumenti di amplificazione (telescopi, microscopi, cineprese al rallentatore, spettroscopi ecc.) hanno permesso di guardare direttamente o indirettamente nel cosmo, nelle cellule,

Il nostro occhio coglie solo certi aspetti della realtà. Noi infatti non vediamo negli atomi, né le galassie, né l'aria, né le molecole, né le pallottole sparate, né la crescita dell'erba. Per percepire l'invisibile dobbiamo ricorrere non solo a certi strumenti ma anche a certi modelli mentali.

nelle molecole. E un enorme progresso di conoscenze ne è derivato.

Tuttavia questi strumenti non permettono di « guardare » direttamente (almeno per ora) nel mondo dell'atomo, e ancor meno nel mondo sub-atomico, cioè delle particelle del nucleo. Non per questo gli scienziati oggi ritengono che si tratti di un mondo misterioso: cercano anzi di penetrarvi con delle osservazioni indirette, che richiedono appunto quell'approccio razionale di cui parlavamo prima.

Una serie di « scatole cinesi » sono state scoperte negli ultimi decenni dai ricercatori: qual è l'ultima scatoletta per ora conosciuta? In altre parole fin dove ci possiamo spingere nell'esplorazione dell'infinitamente piccolo? Oggi sappiamo che dentro il nucleo dell'atomo ci sono i protoni: ma cosa c'è dentro i protoni?

Un fisico americano, Murray Geli-Mann, ha dato il nome di « quark » a delle ipotetiche particelle che comporrebbero il protone. Sarebbero appunto queste le più piccole particelle finora concepibili. Quark è, come sapete, anche il titolo del programma televisivo da cui ha preso spunto questo libro: è quindi giunto il momento di parlarne, tentando di esplorare in profondità questo paesaggio sub-nucleare ancora pieno di cose da scoprire e da capire.

Il quark

(di Franco Foresta Martin)

Due realtà opposte hanno da sempre affascinato l'intelletto umano e rappresentato una sfida all'ansia di sapere; due realtà misteriose e insondabili: l'estremamente grande e l'estremamente piccolo.

Affacciandosi sul versante dell'estremamente grande l'uomo è riuscito a spingere lo sguardo fino ai confini dell'universo; sull'altro versante, quello dell'estremamente piccolo, l'uomo ha potuto intravedere i costituenti del nucleo atomico.

Consideriamo l'uomo come termine di confronto fra l'estremamente grande e l'estremamente piccolo. Disegniamolo al centro di un grafico con in mano la sua unità di misura, il metro. Egli è sovrastato dall'entità più grande che conosce, l'universo, che è 100 milioni di miliardi di miliardi più grande di lui. E a sua volta sovrasta l'entità più piccola che abbia mai veduto, il nucleo atomico, che è circa un milione di miliardi di volte più piccolo di lui.

A conti fatti i nostri sensi, o meglio quelle moderne estensioni dei nostri sensi che sono gli strumenti di indagine, riescono a guardare più a fondo nell'estremamente grande piuttosto che nell'estremamente piccolo.

L'esplorazione dell'universo, è noto a tutti, si fa con i telescopi e altri strumenti analoghi in grado di captare la luce e le radiazioni di corpi celesti lontanissimi. Grazie ad essi abbiamo scoperto che, oltre la Terra, c'è un sistema solare a cui la Terra appartiene; poi un ammasso di stelle a cui appartiene il Sole; e poi tanti altri ammassi di stelle o galassie; e infine tutto l'universo che le contiene.

Ma com'è fatto il mondo dell'estremamente piccolo e con quali strumenti si esplora?

Nel v secolo avanti Cristo i filosofi greci della scuola naturalistica si erano già posti questa domanda e, non avendo altri mezzi di verifica se non la forza della loro speculazione teorica, risposero formulando alcune ipotesi. Anassagora sosteneva che spezzando e spezzando ancora un frammento di mate-

ria si può andare avanti fino all'infinito perché, data un'entità piccolissima, è sempre possibile trovarne un'altra ancora più piccola. Per Democrito, invece, il procedimento ha termine nel momento in cui si giunge a una particella ultima, fondamentale e indivisibile: l'*atomo*. (*Atomos* in greco antico significa, appunto, indivisibile.)

Diciamo che il dibattito è ancora aperto fra i fisici dei nostri tempi, anche se un'enorme strada è stata compiuta nell'esplorazione e nella conoscenza dell'estremamente piccolo. I fisici, innanzitutto, hanno tradotto in pratica l'antica aspirazione dei filosofi greci: spezzare e spezzare la materia in pezzetti sempre più minuscoli. Per far ciò adoperano delle enormi macchine frantumatrici che accelerano fino a velocità prossime a quella della luce piccoli frammenti di materia e poi li fanno cozzare fra loro o contro un bersaglio. Procedendo in questo modo hanno scoperto che l'atomo (se con atomo si intende la più piccola parte di un elemento, per esempio ferro, argento o piombo, che conservi le caratteristiche chimiche dell'elemento stesso) non è affatto indivisibile ma è composto di tre tipi di particelle elementari: *protoni* (con carica elettrica positiva), *neutroni* (privi di carica elettrica) ed *elettroni* (con carica elettrica negativa). Protoni e neutroni sono uniti insieme a formare il nucleo dell'atomo; gli elettroni gli girano attorno.

Queste tre particelle hanno una caratteristica straordinaria: unendole insieme in varie proporzioni, a partire da esse si possono costruire tutti gli elementi esistenti nell'universo: dal più leggero, l'idrogeno, ai più pesanti come l'uranio.

Esaltati da questa scoperta i fisici degli anni '40 e '50 si illusero, come Democrito, di essere arrivati alle particelle ultime della materia, fondamentali e indivisibili. A smentirli dovevano essere quelle stesse macchine frantumatrici che avevano aperto la strada verso l'estremamente piccolo. Realizzando degli urti sempre più vigorosi queste macchine hanno fatto apparire una nuova realtà dentro l'atomo. L'elettrone è effettivamente una particella indivisibile che non mostra sinora una struttura interna. I protoni e i neutroni del nucleo, invece, hanno ciascuno una complessa struttura, come tra poco

vedremo. Non solo, ma si è trovata una moltitudine di altre particelle ad esse simili: oltre trecento.

Al professor Giorgio Salvini, fisico sperimentale, titolare della cattedra di fisica generale all'Università di Roma, chiediamo se si possono considerare ancora elementari, fondamentali, tutte queste particelle che affollano il nucleo.

« Vede, c'è stato molto progresso in questi ultimi dieci o quindici anni. Noi fisici siamo arrivati a una sintesi più profonda. Abbiamo capito che quelle trecento particelle sono combinazioni, peraltro piuttosto semplici, di elementi fondamentali, i *quark,* che, unendosi insieme, possono dar luogo a tutte le particelle note. I quark, certo, sono oggetti un po' strani: la loro carica elettrica è probabilmente un terzo, due terzi della carica elettrica elementare. Esistono sei quark e i corrispondenti antiquark dell'antimateria. Grazie ad essi si è messo veramente ordine a un livello molto approfondito. »

I quark, dunque, rappresentano un nuovo passo avanti nel campo dell'estremamente piccolo. La storia della loro scoperta è piuttosto singolare. Nel 1963 il fisico americano Murray Geli-Mann, per citare il più celebre, ordinando e classificando la folla delle particelle fino a quel momento note, scoprì una legge, una regola. Bastava immaginare l'esistenza di tre entità elementari, caratterizzate da una carica elettrica frazionaria (un fatto assolutamente nuovo in fisica delle particelle perché la più piccola carica elettrica conosciuta in natura è quella dell'elettrone presa, per convenzione, come unità di misura), per dare ragione di tutte le particelle osservate fino a quel momento e di altre non ancora scoperte ma delle quali era possibile prevedere l'esistenza. I tre quark di Geli-Mann, insomma, erano come i tre elementi di un puzzle che possono incastrarsi in tante maniere differenti e dar luogo a una grande varietà di oggetti.

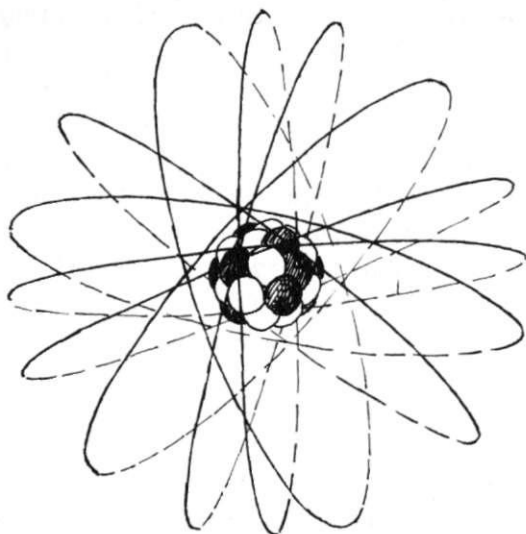
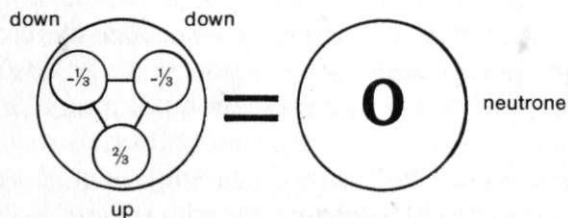
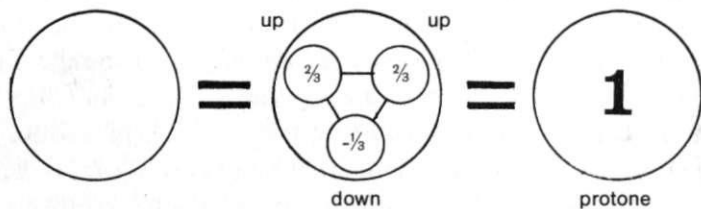
Ma cosa vuol dire quark e perché è stato scelto questo nome? Anche questa è una storia singolare che vale la pena di raccontare. Geli-Mann è un ammiratore di James Joyce, uno degli scrittori più fantasiosi e inventivi della letteratura con-

temporanea. Alcuni suoi libri sono fatti con parole nuove, espressioni create da incroci, interpolazioni, mutilazioni, distorsioni. Forse Geli-Mann pensò di avere realizzato con le sue particelle lo stesso gioco di incastri che Joyce aveva creato nella sua ultima e incompiuta fatica: la *Finnegan's Wake* (La veglia di Finnegan). Una filastrocca a rima baciata con cui inizia un capitolo del volume gli offrì l'ispirazione: « *Three quarks for Muster Mark!* », come dire « Tre evviva per Muster Mark! » o, secondo altri, « Tre quarti di birra per Muster Mark! ». Come si vede le versioni sono diverse perché solo Joyce sapeva che cosa voleva esprimere con la parola *quarks.*

E così quei tre misteriosi quark che qualcuno reclama nel libro di Joyce sono diventati dal 1963 i mattoni fondamentali della materia nucleare.

Il professor Salvini ha parlato però di 6 quark. E qui, in realtà, la storia si complica un tantino. Ai tempi della scoperta di Geli-Mann si pensava che queste particelle ultra-elementari fossero tre soltanto: il *quark up* (ovvero sù) che ha carica frazionaria pari a 2/3. Il *quark down* (giù) che ha carica frazionaria pari a —1/3. Il *quark strange* (strano) anch'esso con carica frazionaria pari a —1/3. Il protone, per esempio, che ha carica positiva eguale a 1, è fatto con due quark up e un down. Il neutrone con un up e due down. E potremmo andare avanti così per molto tempo spiegando la costituzione di decine e decine di particelle sub-nucleari, cioè che vivono dentro al nucleo atomico.

Nel 1974, però, i fisici Ting e Richter scoprirono un nuovo tipo di mesone che non si poteva costruire con i soli tre quark di Geli-Mann. Ce ne voleva un altro, come aveva previsto anche il fisico teorico Maiani. E siccome con esso si dava origine a tutta una serie di particelle che i fisici definirono affascinanti, il quarto quark fu battezzato *charme,* cioè fascino.

Nel 1977 la storia si è ripetuta: il fisico Lederman scoprì un altro mesone per costruire il quale era necessario ipotizzare un altro pezzo mancante, il *quark beauty* o quark della bellezza. Esso, aggregato insieme agli altri quark, dà origine alla famiglia delle particelle cariche di bellezza.

Oggi si pensa che neutroni e protoni siano fatti di particelle ancora più piccole, con carica elettrica frazionaria: i quark. Due quark up e un quark down formerebbero il protone che ha carica elettrica +1. Con i quark è inoltre possibile costruire gran parte delle particelle della vastissima famiglia atomica. Ma ancora nessuno è mai riuscito a isolarne uno.

E siamo a 5 quark. Pur senza essere spinti da un'impellente necessità, cioè la scoperta di una particella che non si può spiegare con i soli cinque pezzi di questo fantastico gioco di incastri, i fisici pensano che debba esistere anche un sesto quark, il *quark true,* cioè il quark della verità.

Ma la cosa che probabilmente desta più meraviglia è che questi sei magnifici quark, che sono riusciti a mettere un po' d'ordine e di regolarità nella affollatissima famiglia delle particelle subnucleari, non sono mai stati visti. Si hanno degli indizi indiretti della loro esistenza, ma i fisici, per quanti sforzi abbiano compiuto negli ultimi 15 anni, cioè dopo la formulazione di Geli-Mann, non sono riusciti a isolarne uno.

Al CERN di Ginevra lavora Antonino Zichichi, presidente dell'Istituto nazionale di fisica nucleare, cacciatore di quark. Come procedono i tentativi, finora sfortunati, di acchiapparne qualcuno?

« I nostri tentativi per vedere un quark sono piuttosto complessi. Si comincia con il protosincrotrone, una macchina dove si producono protoni, da 400 miliardi di elettronvolt. Questi, a loro volta, producono pioni, i quali si disintegrano dando origine ai neutrini. I neutrini, che sono particelle molto penetranti, tanto che possono attraversare tutta la Terra senza essere deviati, bombardano un bersaglio di piombo e qui, ovviamente, colpiscono i nuclei degli atomi di piombo che sono fatti di protoni e neutroni. Se nell'urto un neutrone o un protone si spaccasse noi dovremmo vedere i quark, nel senso che i nostri contatori dovrebbero misurare una carica elettrica frazionaria. Finora però questo evento non si è verificato. Quindi sembra che non ci sia stata produzione di quark. Ma l'analisi continua. »

Nel sentire questi insuccessi della fisica sperimentale chi non è specialista viene assalito dal sospetto che i quark siano una mirabile costruzione teorica la quale, tuttavia, non ha riscontro nella realtà. È possibile?

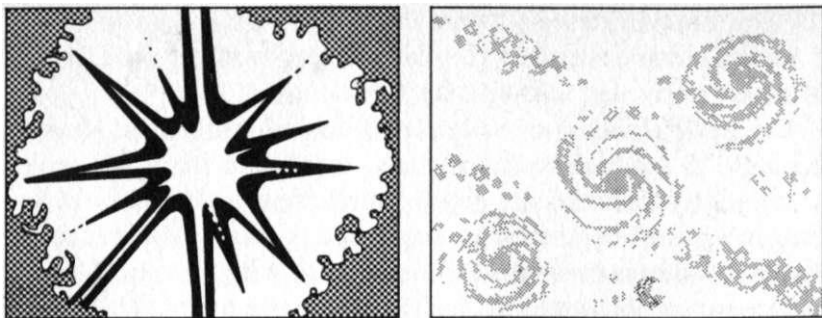
« I quark non sono mai stati visti isolatamente, è vero, » replica Salvini, « ed è anche possibile che non riusciremo mai a isolarli perché sono <confinati>, ma questo non ci impedisce

di affermare la loro esistenza. Essi sono come sigillati in un resistentissimo sacchetto di plastica trasparente. Li riusciamo a intravedere, ma non a tirare fuori. »

Un modo di indagare nel mondo dell'estremamente piccolo è quello di studiare le forze che si esercitano fra le particelle elementari. Nel caso dei quark, anche se essi stessi non si vedono, si potrebbe tentare di avere una conferma indiretta della loro esistenza individuando gli effetti della loro forza. È un po' come se volessimo acciuffare un pugile invisibile lasciandoci guidare dai pugni che va mollando a destra e a manca. Un procedimento di ricerca di questo tipo sta per essere realizzato al CERN con un impegnativo esperimento di fisica al quale partecipano circa cento fisici, tra cui vari ricercatori dell'Istituto di fisica di Roma: Bacci, Bernabei, D'Angelo, Ceradini, Moricca, La Cava, Paoluzi e lo stesso Salvini. In particolare si tratta di vedere se esistono i cosiddetti « bosoni intermedi » che si possono produrre nell'urto fra protoni e antiprotoni accelerati nel grande superprotosincrotrone del CERN. Presto, dunque, sapremo se dei quark sono state individuate, almeno, le forze che essi esercitano.

E poniamoci, per finire, una domanda filosofica, la stessa che si posero 2500 anni fa Anassagora e Democrito. I quark sono un'entità ultima, indivisibile, o sotto di essi c'è ancora qualcosa? Oggi non siamo ancora in grado di rispondere a questa domanda. Ma, malgrado si aspetti ancora un'evidenza sperimentale dei quark, c'è chi si è spinto più avanti. Per esempio alcuni fisici teorici hanno ipotizzato che alla base dei quark vi sarebbero soltanto due entità fondamentali, i *rishon.* Per ora si tratta di una pura speculazione teorica che non ha alcun riscontro sperimentale. E questo l'ultimo tentativo di aprire la strada verso l'infinitamente piccolo.

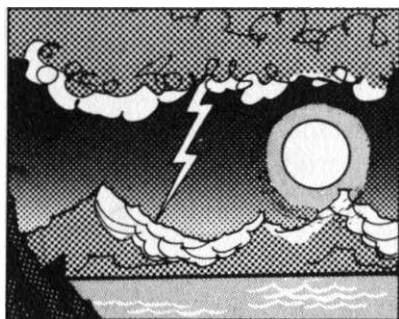
Lo spazio e il tempo

Dall'infinitamente piccolo delle particelle all'infinitamente grande dello spazio: noi viviamo sospesi tra queste due di-

L'esplosione nello spazio di una grande stella supernova, dove le temperature interne sono così alte da poter fabbricare atomi complessi, come azoto, carbonio, calcio, fosforo, potassio ecc. (oltre a quelli ancora più «pesanti»), ha portato alla formazione di pianeti, che hanno raccolto e aggregato, per gravitazione, questi atomi vaganti in nebulose.

mensioni che, pur apparendo così lontane e anzi opposte, in realtà fanno parte di uno stesso sistema di riferimento, poiché sono regolate dalle stesse leggi, e sono legate a noi da vincoli di stretta parentela.

I quark ce li portiamo addosso, dentro ogni atomo e quindi dentro ogni cellula. Lo spazio è il nostro progenitore diretto, poiché gli atomi e le molecole che ci formano sono arrivati un giorno qui sulla Terra dopo un lungo viaggio spaziale. Infatti gli atomi che costituiscono il nostro mondo fisico e il nostro stesso corpo sono stati cucinati nel lontano passato dentro il crogiuolo di qualche stella gigante, cioè in qualche supernova che esplodendo ha lanciato nel cosmo gli elementi pesanti che oggi formano, per esempio, i nostri occhi, la nostra pelle, i denti, i capelli ecc.

Guardando lontano nello spazio noi guardiamo così anche nel nostro passato. E gli oggetti che vediamo oggi con i più potenti radiotelescopi rappresentano gli stadi evolutivi della materia nella fase iniziale, una fase attraverso la quale anche noi, indirettamente, siamo passati.

Come è noto, infatti, più si guarda lontano nello spazio più si guarda indietro nel tempo. Poiché la luce ha una velocità tutto sommato abbastanza modesta, se riferita alle dimensioni

I processi di formazione della Terra e poi quelli che hanno portato all'origine della vita, alimentati dall'energia solare (direttamente o indirettamente), hanno via via «montato» questi atomi in strutture sempre più complesse. I nostri occhi, il nostro corpo, il nostro cervello sono quindi composti di atomi usciti dalle esplosioni di supernove.

dell'universo (un po' meno di 300.000 km al secondo), il tempo necessario per compiere grandi tragitti è molto lungo. La luce impiega 4 anni per arrivare fino a noi dalla stella più vicina, circa 2 milioni di anni per arrivare dalla galassia più vicina, Andromeda. Noi quindi vediamo questi oggetti così come erano 4 anni fa, o 2 milioni di anni fa.

Spingendoci ancora più in profondità nello spazio retrocediamo evidentemente sempre più indietro nel tempo, e vediamo certi oggetti così come erano centinaia di milioni di anni fa, o anche miliardi e miliardi di anni fa.

Queste osservazioni sono di grande interesse perché permettono di vedere, come in un archivio di spazio-tempo, la storia evolutiva dell'universo, e consentono di cambiare continuamente epoca puntando il radiotelescopio in quella o in quell'altra direzione.

Osservando questa specie di « zoo cosmico » i fisici cercano oggi non soltanto di studiare la nostra storia passata, ma anche di osservare, come in un laboratorio naturale, i fenomeni che si producono nell'universo e che presentano a volte situazioni assai sorprendenti, vicine ai limiti estremi della variabilità consentita dalle leggi naturali.

Uno dei corpi celesti che recentemente hanno più attirato

l'attenzione degli astrofisici è l'« SS-433 »: perché? Perché è uno strano oggetto della nostra galassia, i cui blocchi di materia ruotano a una tale velocità (un quarto di quella della luce) da presentare effetti relativistici. Esso permetterà forse di studiare direttamente nello spazio cosmico certe conseguenze previste dalla relatività di Einstein.

È ormai ben noto che viaggiando ad altissime velocità c'è un effetto di dilatazione del tempo che si produce: se cioè un astronauta viaggiasse per un certo tempo a una velocità prossima a quella della luce, rientrando sulla Terra troverebbe i suoi figli più vecchi di lui, o magari si accorgerebbe che sono addirittura passati secoli, o millenni.

L'idea di sfruttare l'effetto tempo per compiere lunghi viaggi spaziali (in modo che gli astronauti possano vivere al « rallentatore ») è una di quelle cose che non finiscono di sorprenderci, e che ci sembrano appartenere più alla fantascienza che alla fisica. Eppure l'effetto tempo è ormai un concetto acquisito nella fisica moderna non solo dal punto di vista teorico ma anche da quello sperimentale, come vedremo tra poco: e forse lo studio dell'« SS-433 » potrà aggiungere nuove osservazioni a questo sorprendente campo di indagine. Vediamo di cosa si tratta.

La grande macchina cosmica

(di Franco Foresta Martin)

Con i suoi cento miliardi di stelle, la nostra galassia non presenta fenomeni unici. Per ogni oggetto strano che si osserva si riesce sempre a trovare qualcosa di simile, qua e là, nell'enorme disco rotante che ci contiene. Questo era il punto di vista degli astronomi fino a quando non ci si è imbattuti in « SS-433 », una singolarità senza precedenti e, finora, senza controfigure, che negli ultimi tre anni è diventato l'oggetto più studiato della nostra galassia.

Vista al telescopio « SS-433 » appare come una stellina di 14ª grandezza, cioè mille volte meno luminosa della più debo-

le stella visibile ad occhio nudo, situata nella costellazione dell'Aquila.

E tale la distanza delle stelle da noi che qualunque telescopio, anche il più potente, ci offre di esse un'immagine puntiforme. Inutile, quindi, sperare di scorgere qualche particolare della loro struttura. Gli astrofisici per avere informazioni, sia pure indirette, dei soli lontani ricorrono allora alla scomposizione e all'analisi della loro debolissima luce (analisi spettroscopica).

Così analizzata « SS-433 » mostra un fenomeno strano e contraddittorio: è come se vicino ad essa vi fossero due getti di materia gassosa, uno in rapidissimo avvicinamento, l'altro in rapidissimo allontanamento rispetto al nostro punto di vista. Di che si tratta? Gli studiosi che lavorano all'interpretazione di questi dati hanno avanzato alcune ipotesi. Ascoltiamone uno, il professor Remo Ruffini, titolare della cattedra di fisica teorica all'Università di Roma.

« <SS-433> è un oggetto unico all'interno della nostra galassia. Si trova al centro di un'enorme catastrofe cosmica: una supernova che esplose circa trentamila anni orsono. Questo oggetto emette radiazioni in varie lunghezze d'onda: raggi x, onde radio e onde luminose. E proprio analizzando questa luce che il professor Augusto Mammano dell'Osservatorio di Asiago (Vicenza) si è reso conto che vi era in questa radiazione una forte anomalia. L'analisi teorica di questa anomalia ha permesso di creare un modello di questo oggetto. E, indipendentemente dai dettagli dei vari modelli proposti, si è giunti alla conclusione che si deve trattare di un oggetto estremamente concentrato, cioè di quello che si chiama un <oggetto collassato gravitazionalmente>. In <SS-433> la densità è altissima. Se noi prendessimo la Terra e la concentrassimo a tale densità, essa verrebbe ad assumere le dimensioni di un pisello, pur mantenendo una massa elevatissima.

« Attorno a questo oggetto collassato la materia deve muoversi in due getti, ovvero in un disco a velocità altissima, dell'ordine di un quarto della velocità della luce. E questa è la prima volta che, all'interno della nostra galassia, vediamo una

grande massa di materia, non soltanto qualche particella elementare, muoversi a queste velocità altamente relativistiche. »

Perché affascina tanto gli astrofisici una girandola celeste così veloce? È sempre Ruffini che risponde.

« Siamo interessati a usare questa sorgente per lo studio di alcuni degli aspetti più nuovi e interessanti delle teorie di Einstein, siano esse la relatività speciale o la relatività generale. La grande concentrazione dell'oggetto fa sì che la luce emanante da esso cambi la sua frequenza; ancora più affascinante è il fatto che questo oggetto tanto massiccio e denso ruoti a un'altissima velocità trascinandosi dietro non solo la materia, ma anche lo spazio-tempo. »

La relatività di Einstein è la teoria che da più di mezzo secolo domina la scena della fisica. Se ne è parlato molto, da parte dei mezzi di comunicazione di massa, in occasione delle celebrazioni per il centenario della nascita del suo autore, e non intendiamo qui riprendere un discorso sulla natura di questa fondamentale sintesi delle conoscenze scientifiche dei nostri tempi. Prendendo spunto da « SS-433 » ci limiteremo a rispondere a uno dei quesiti che, sempre più spesso, si pone la curiosità umana. Riusciremo mai a viaggiare a velocità prossime a quelle della luce, come quei getti di materia di cui ci ha parlato Ruffini? E, in caso affermativo, quali conseguenze deriveranno per i viaggiatori? Non sono quesiti da fantascienza. L'esigenza di correre veloci come un raggio di luce sarà sempre più sentita, nei secoli a venire, quando l'uomo si porrà il problema di raggiungere le stelle vicine alla ricerca di sistemi solari come il nostro, e di eventuali forme di vita.

Un'astronave attuale, malgrado corra mille volte più veloce di un'automobile, impiega quattro giorni per raggiungere la Luna; tre anni per un pianeta come Saturno e 50.000 anni per Proxima Centauri, la stella più vicina. Finché avremo a disposizione un mezzo di trasporto così lento la sfera di espansione dell'uomo nell'universo non potrà che essere limitata, come quella di una popolazione di lumache che pretendesse di esplorare la Terra. Un raggio di luce, che va alla massima

velocità consentita nel nostro universo, quasi 300.000 km al secondo, impiega, invece, un secondo e mezzo per raggiungere la Luna; 79 minuti per Saturno e 4,3 anni per la stella più vicina.

Dobbiamo concludere che l'unico modo per esplorare, in tempi ragionevoli, lo spazio circostante al sistema solare sarebbe quello di poter cavalcare un raggio di luce; ovvero, per uscire da questa immagine, di spingere un'astronave fino alla velocità della luce. Ma anche a questo modo, dopo aver fatto un po' di conti, ci dovremmo rassegnare a muoverci in uno spazio limitato attorno al Sole, dato che la luce, per andare da un capo all'altro della nostra galassia (cioè l'ammasso di stelle di cui fa parte il nostro Sole), impiega quasi 100.000 anni.

A questo punto, però, non dobbiamo più fare i conti con la matematica e la fisica tradizionali, bensì con la teoria della relatività di Einstein. Essa ci dice che per un viaggiatore relativistico, che corre cioè a velocità prossime a quelle della luce, i tempi si rallentano tanto che egli avrebbe la sensazione di esplorare in pochi giorni la nostra galassia, mentre sulla Terra sarebbero trascorsi millenni.

Se noi potessimo vederli, questi astronauti relativistici, i loro movimenti ci apparirebbero tremendamente rallentati. Se potessimo udirli, e in linea di principio un contatto radio è possibile, le loro voci ci darebbero la sensazione di un disco che perde giri in modo esasperante. Il contatto radio sulla Terra non potrebbe essere seguito da un solo operatore, ma da generazioni e generazioni. La ricezione di un loro semplice e breve « ciao » potrebbe durare, sulla Terra, interi anni.

Ma osserviamo meglio con un esempio la portata di questo effetto di dilatazione dei tempi. Supponiamo che un ipotetico astronauta extraterrestre in viaggio di esplorazione nell'universo sia giunto sulla Terra nell'anno primo dell'Era Cristiana, in tempo per assistere alla nascita di Gesù, e poi abbia preso a volare attorno al sistema solare a una velocità di 299.791 km al secondo, appena 1,5 km al secondo in meno rispetto a quella della luce. Ebbene, se il nostro astronauta, dopo circa ogni anno di viaggio, avesse deciso di interrompere

il suo giro di ricognizione per tornare a visitare la Terra si sarebbe trovato nella seguente situazione.

Dopo il primo anno avrebbe trovato l'umanità ai tempi della divisione fra l'Impero Romano d'Occidente e l'Impero Romano d'Oriente, nel 395 dopo Cristo. Dopo circa due anni avrebbe assistito alla morte di Orlando a Roncisvalle, nel 778. Dopo tre anni alla seconda crociata in Terrasanta, nel 1148. Dopo quattro anni alla scoperta dell'America, nel 1492. Dopo cinque anni all'insediamento di Reagan a presidente degli Stati Uniti, nel 1981.

Il rallentamento del tempo per l'ipotetico viaggiatore relativistico è anche noto sotto il nome di « paradosso dei gemelli » perché per la prima volta fu spiegato immaginando gli effetti strabilianti su due fratelli gemelli dei quali uno si metta in viaggio a velocità relativistiche e l'altro resti sulla Terra. Supponendo che la partenza avvenga quando i due hanno compiuto 20 anni e che la velocità sia la stessa di quella considerata poc'anzi, tornando sulla Terra, dopo due mesi di viaggio, il gemello astronauta troverebbe che suo fratello ha già compiuto 80 anni. Sulla Terra sarebbero trascorsi, infatti, 60 anni.

Tutto ciò è molto suggestivo, ma viene da chiedersi se potrà mai succedere nella realtà o se appartiene esclusivamente a un'astratta teoria.

Riusciremo in futuro a compiere quel salto verso l'astronave relativistica che corre quasi alla velocità della luce? La domanda è posta, ancora una volta, al professor Remo Ruffini.

« Be', è difficile prevedere il futuro. Però già da oggi si capisce molto chiaramente che se riuscissimo a costruire un'astronave che inizia a muoversi con la stessa accelerazione che hanno oggi i razzi convenzionali che escono dal campo gravitazionale terrestre, e che tuttavia mantiene questa accelerazione non per pochi minuti o poche ore, ma per un tempo dell'ordine di trent'anni, allora effettivamente si potrebbe raggiungere una velocità molto vicina a quella della luce. »

— E quanto carburante si dovrebbe impiegare per tenere accesi i motori per trent'anni?

« Effettivamente quello del carburante è un punto molto

delicato. Però, in linea di principio, non è assurdo pensare che si possa trovare un tipo di carburante, per esempio la fusione nucleare, che permetta di realizzare queste condizioni. Una volta abbastanza vicini alla velocità della luce gli astronauti potrebbero andare verso il centro della Galassia e tornare in un tempo perfettamente limitato, dell'ordine di alcune decine di anni. Alcune decine di anni per loro, perché per noi, rimasti sulla Terra, sarebbero trascorse molte decine di migliaia di anni. E quando gli astronauti faranno ritorno troveranno questa strabiliante verifica alla relatività di Einstein. »

L'impresa sembra tecnicamente possibile, come ci assicura Ruffini. Ma chi ci dice che esistono davvero questi effetti relativistici?

Le prove della dilatazione dei tempi per chi viaggia a velocità elevate sono venute da una serie di esperimenti con orologi atomici, perfettamente sincronizzati fra loro, alcuni dei quali sono stati posti su aeroplani in volo; altri lasciati a terra. Se Einstein ha ragione gli orologi sull'aereo devono ritardare rispetto a quelli di riferimento a terra. Così è stato, anche se il ritardo misurato è dell'ordine dei nanosecondi, cioè dei miliardesimi di secondo. Ciò perché gli effetti relativistici si evidenziano in maniera macroscopica soltanto a velocità prossime a quelle della luce; mentre a velocità terrestri sono trascurabili. In altri termini anche noi viaggiando in aereo ringiovaniamo un po', come il gemello-astronauta del paradosso, ma soltanto di una piccolissima frazione di secondo.

Altre prove alla dilatazione dei tempi sono venute dal mondo dell'infinitamente piccolo. Si sa che le particelle costituenti l'atomo hanno anche loro una vita, a conclusione della quale si trasformano in altri tipi di particelle. Così è per il muone, un parente dell'elettrone che vive un milionesimo di secondo, dopodiché si trasforma o meglio decade, come dicono i fisici, in un elettrone e due neutrini. Ebbene questi muoni, immessi in grandi acceleratori a forma di anello e spinti fino a velocità di poco inferiori a quelle della luce, prolungano di centinaia di volte la loro esistenza. A Ginevra è stato inaugurato nel 1976

un superprotosincrotrone in cui le particelle ruotano così veloci che la loro vita si moltiplica di un fattore 400. Se un uomo potesse essere immesso in questo fantastico acceleratore al momento della nascita e girare per un tempo che per noi terrestri è di ventimila anni, ebbene egli uscirebbe in tempo per festeggiare il 50° compleanno!

Dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande, dal mondo dell'atomo a quello delle stelle, ci arrivano di continuo conferme alle geniali intuizioni che Einstein ebbe all'inizio di questo secolo. Gli astrofisici intendono ora approfondire gli studi dell'« SS-433 » per avere nuove verifiche alla teoria della relatività.

Il sogno dell'uomo di superare gli ostacoli posti dalla natura, di volare veloce come e più dei getti di materia osservati nell'« SS-433 », di sperimentare nuove condizioni fisiche, si alimenta anche di questi studi.

I fotoreporter dello spazio

L'osservazione della natura fisica, dagli atomi alle galassie, ha conosciuto negli ultimi decenni un impulso straordinario, lo sappiamo, grazie anche ai nuovi strumenti messi a disposizione dalla tecnologia. Nel campo astronomico due grandi rivoluzioni sono avvenute nell'arco dell'ultima generazione: l'avvento dei radiotelescopi e quello delle esplorazioni spaziali.

I radiotelescopi hanno modificato radicalmente il modo di vedere il cielo: basandosi non soltanto più sulla captazione della luce ma di una grande quantità di radio-onde provenienti dallo spazio, essi hanno permesso di « vedere » in modo nuovo la volta celeste.

E sulla radioastronomia che si basano, come è noto, le osservazioni su oggetti che sono oggi al centro di molte ricerche: come le stelle di neutroni, i pulsar, i quasar, per non parlare dei famosi « buchi neri », che hanno spesso eccitato la fantasia dei non addetti ai lavori (probabilmente più del dovuto).

L'esplorazione spaziale, dal canto suo, ha permesso di realizzare un nuovo tipo di osservazione ravvicinata dei corpi celesti più studiati in tutta la storia dell'astronomia: i pianeti del sistema solare. Con le sonde spaziali è stato possibile a volte posarsi direttamente sulla loro superficie, come su Marte o su Venere (per non parlare della Luna); in altri casi è stato possibile passar loro così vicino da ritrarli come in un fotoreportage. Le immagini inviateci dalle sonde Mariner ed Explorer ci hanno fornito una nuova visione del nostro sistema solare, facendo invecchiare di colpo molte nozioni che erano legate alle tradizionali osservazioni a distanza.

Come risulta questa nuova carta del cielo?

Il nuovo sistema solare

(di Lorenzo Pinna)

La prima « orbita » intorno alla Terra fu compiuta nel 1519. Si trattò di un'orbita molto particolare. Era la circumnavigazione del pianeta effettuata ovviamente non da un'astronauta ma da un navigatore: Magellano. Oggi si sta per compiere un'altra speciale navigazione, questa volta cosmica: quella del sistema solare. Infatti negli ultimi venti anni sono state inviate sonde automatiche verso quasi tutti i pianeti. In direzione di Urano e Nettuno sta in questo momento viaggiando il Voyager 2 e dovrebbe incontrarli rispettivamente nel 1986 e nel 1989. L'unico a rimanere inesplorato è per ora Plutone.

Cosa hanno visto questi robot automatici che a volte, oltre agli occhi elettronici, portavano a bordo veri e propri laboratori chimici e biologici? Nei loro incontri ravvicinati con i vari corpi celesti del nostro sistema solare hanno raccolto una massa enorme di informazioni e ci hanno sorpreso con scoperte e immagini inattese. Ripercorriamo brevemente in un immaginario viaggio di milioni di chilometri il sistema solare, fermandoci a considerare quali sono state, pianeta per pianeta, le scoperte più sorprendenti compiute dalle sonde.

Il Grand Tour ha dunque inizio da Mercurio, un pianeta desolato, con una temperatura media di 170 °C, praticamente privo di atmosfera, se si escludono tracce di idrogeno, elio e particelle di vento solare. Le immagini di Mercurio ce lo hanno mostrato molto simile alla Luna, butterato di crateri grandi e piccoli fra i quali si stendono pianure laviche solidificate da miliardi di anni e assomiglianti ai mari lunari.

Di questo pianeta possediamo anche una mappa che raffigura il 35% della superficie.

Lasciando Mercurio e percorrendo una cinquantina di milioni di chilometri incontriamo Venere, un pianeta delle dimensioni della Terra e ritenuto per qualche tempo un luogo capace di ospitare la vita. Ricerche con telescopi e spettroscopi avevano già fatto capire negli anni passati che questa possibilità non esisteva. I dati di sonde sovietiche e americane lo hanno confermato. Il pianeta è coperto da un'impenetrabile coltre di nubi e immerso in un'atmosfera di anidride carbonica, circondata da un sottile involucro di acido solforico. Al suolo le condizioni sono proibitive per qualsiasi essere vivente. La densa atmosfera esercita una pressione 90 volte superiore a quella che proviamo sulla superficie della Terra (cioè condizioni che noi potremmo sperimentare immergendoci 900 metri sotto il livello del mare). La temperatura media è di 470 °C. Vi fonderebbe il piombo.

La densità dell'atmosfera venusiana è stata anche verificata dalle sonde sovietiche che per scendere sulla superficie non usano un paracadute o dei retrorazzi ma un piccolo disco, che riesce a render dolce l'impatto. L'altissima temperatura al suolo (più alta, in media, di quella di Mercurio) è stata spiegata con un doppio effetto serra provocato dalle nuvole di anidride carbonica e dall'involucro di acido solforico. Questi strati infatti non lasciano uscire il calore, e la superficie non può mai raffreddarsi. Anche se probabilmente nessun astronauta metterà mai piede su Venere ne possediamo una mappa abbastanza precisa: tra l'altro i radar orbitanti hanno permesso di capire che questo pianeta ha una configurazione abba-

stanza piatta dove però si eleva una gigantesca montagna, battezzata Monte Maxwell, di circa 11.000 metri.

Abbandoniamo anche questo pianeta caldissimo e inospitale e, dopo aver saltato la Terra, fermiamoci su Marte ormai a 230 milioni di chilometri dal Sole. Anche questo pianeta è stato per almeno cento anni un luogo candidato a ospitare la vita e forse anche esseri intelligenti. E anche in questo caso: delusione. I canali di Marte non sono gigantesche opere per irrigare i deserti con l'acqua delle calotte polari, come l'astronomo Lowell ipotizzò nel secolo scorso. Le immagini spedite dai Mariner e dai Viking ci mostrano un pianeta deserto, disseminato di crateri e battuto da tempeste di polvere che possono durare anche un mese.

Le due sonde giunte fino al suolo ci hanno inviato i dati sulle condizioni fisiche esistenti su Marte. La temperatura varia fra i —170 °C e i —10 °C e l'atmosfera, costituita principalmente di anidride carbonica, è assai rarefatta; la pressione è 150 volte inferiore a quella terrestre. Durante l'inverno marziano, hanno scoperto le sonde, la pressione diminuisce ancora di più poiché i gas atmosferici, per il freddo, si condensano.

Marte è l'unico pianeta, oltre la Terra, dove sembra che un tempo scorresse l'acqua. Le immagini dei Viking orbitanti hanno infatti mostrato complicate reti di canali che solo l'acqua può avere scavato. Dov'è finita tutta quell'acqua? Probabilmente nella calotta polare settentrionale che a un'analisi ai raggi infrarossi ha rivelato una grande abbondanza di ghiaccio. Oggi infatti l'acqua non può più esistere su Marte. Un incauto astronauta che ne portasse un po' sulla sua superficie, la vedrebbe esplodere non appena esposta alla tenue atmosfera marziana, e trasformarsi in gas.

Le condizioni esistenti su Marte non sembrano le migliori per permettere la vita: tuttavia i due Viking giunti al suolo hanno ugualmente tentato alcuni esperimenti per vedere se forme estremamente semplici come i batteri potessero essere presenti. I tre esperimenti tentati consistevano nell'iniettare sostanze di cui i batteri (almeno quelli terrestri) sono ghiottis-

simi in un campione di suolo marziano e osservare l'eventuale comparsa di scorie del metabolismo, come per esempio anidride carbonica.

I risultati non hanno fornito una prova definitiva, tuttavia gli scienziati ritengono estremamente improbabile la vita su Marte, anche se un dubbio rimane. Su Marte è stato scoperto invece un fenomeno che conosciamo benissimo anche sulla Terra: il vulcanesimo. Su questo pianeta si trova addirittura il più grande vulcano del sistema solare, battezzato Monte Olimpo. Ma nella regione di Tharsis si trovano anche altri vulcani giganti. Una fotografia del Viking 2 ce ne mostra uno, Ascneus, con il caratteristico pennacchio.

Lasciamo anche Marte, il pianeta probabilmente più ospitale per noi terrestri, e continuiamo il nostro viaggio verso Giove, il pianeta gigante del sistema solare a 800 milioni di chilometri dal Sole. In effetti Giove più che un pianeta è una stella che non è riuscita ad accendersi. Per questo Giove contrariamente ai pianeti di tipo terrestre non ha una superficie solida ma strati di gas (idrogeno ed elio, proprio come il Sole) sempre più compressi. Se fosse stato un po' più grande noi oggi vedremmo due Soli. O forse non vedremmo niente perché il secondo Sole avrebbe impedito alla vita di nascere sul nostro pianeta. Giove ha riservato alle sonde automatiche diverse sorprese. Innanzitutto un sottile sistema di anelli, invisibile da Terra, circonda questo pianeta. E gli occhi elettronici dei Voyager hanno scoperto tre satelliti minori che non erano stati visti al telescopio.

Poi altre incredibili sorprese le ha riservate uno dei satelliti maggiori di Giove, quelli galileiani, che formano un sistema planetario in miniatura intorno all'aspirante stella. Infatti la prima luna, Io, che ruota più vicina al pianeta, ha mostrato un aspetto veramente inatteso. Prima dell'incontro con il Voyager si riteneva che Io fosse simile alla nostra Luna. Ma già le prime immagini del Voyager mostravano un satellite che sembrava malato. Non apparivano le consuete cicatrici dei crateri o i grandi mari di lava solidificata, ma un insieme di macchie

rosse o gialle. Poi lungo il profilo esterno un gigantesco pennacchio alto 300 chilometri che si ripiegava a forma di cupola. La luna Io era un satellite vulcanico. Ben 8 vulcani in eruzione sono stati identificati durante l'incontro con il Voyager 1, mentre il Voyager 2, arrivato quattro mesi dopo, li trovava ancora in eruzione, tranne uno. E stata fatta l'ipotesi che la grande forza di attrazione esercitata da Giove crei dei movimenti nella struttura interna di Io, cioè delle maree gigantesche che per attrito darebbero origine a questo imponente fenomeno vulcanico.

Prima di lasciare Giove diamo uno sguardo all'atmosfera di questo pianeta solcata da numerose strisce di varie colorazioni e segnata da figure ovali. La colorata atmosfera di Giove, già osservata da Terra, è luogo di venti impetuosi (circa 400 chilometri orari) e di vortici giganteschi grandi più volte la Terra e che durano da secoli, come la Grande Macchia Rossa. Anche in questo caso le sonde hanno permesso di costruire modelli più precisi per spiegare la circolazione atmosferica di Giove. Il colonnello Bernacca potrebbe già da oggi, grazie a queste informazioni, darci le previsioni del tempo non solo per l'Italia o la Terra, ma anche per Venere, Marte, Giove e Saturno. Il problema è che nessuno per ora va a trascorrere il week-end su uno di questi pianeti.

Lasciamo dunque anche Giove per superare ormai il miliardo di chilometri dal Sole e dirigerci verso Saturno, un'altra stella mancata, e ultimo pianeta, per ora, ad essere visitato dalle sonde automatiche. Uno degli interrogativi più interessanti su questo pianeta riguarda naturalmente gli anelli. E i Voyager ne hanno fornito immagini chiarissime, che hanno permesso di capirne finalmente la struttura.

Gli anelli di 275.000 km di diametro (tre quarti della distanza fra la Terra e la Luna) hanno uno spessore ridottissimo, un chilometro al massimo, e sono formati principalmente da ghiaccio. I frammenti variano di dimensione fra i 10 metri i più grandi e i millesimi di millimetro i più piccoli. Anche la struttura degli anelli dopo la visita dei Voyager ha presentato molte novità. È stato scoperto un nuovo anello esterno che da

Terra non è visibile. Mentre gli altri anelli e le divisioni fra anelli hanno presentato strutture molto più raffinate. Per esempio quello che da Terra era stato battezzato l'anello A si è visto che è costituito da un complicato sistema di sotto-anelli. E la stessa divisione di Cassini, uno spazio vuoto che separa i due anelli principali, è in realtà costituita da quattro anelli molto sottili. Insomma l'intero sistema assomiglia molto a un disco microsolco da 33 giri con qualche graffio.

Ma l'incontro con Saturno ha riservato anche un'altra sorpresa. La luna più grande di questo pianeta, Titano, è infatti l'unico satellite del sistema solare ad avere un'atmosfera. E un'atmosfera composta, come quella della Terra, principalmente di azoto. La somiglianza si ferma però qui. Su Titano al posto dell'ossigeno si trova il metano. Il Voyager 1 passando a soli 5000 chilometri da Titano ha potuto vedere che la sua atmosfera è ricchissima di molecole organiche come gli idrocarburi, che formano una specie di smog naturale, e sembra che esistano anche oceani di metano liquido. Insomma questo satellite è il più grande deposito di idrocarburi del sistema solare. Farebbe molto comodo averlo più vicino.

Adesso, mentre il Voyager 1 si è già perso fuori del sistema solare, il Voyager 2 viaggia verso Urano, dove arriverà nel gennaio 1986, e poi l'ultimo appuntamento nell'agosto 1989 con Nettuno. Se tutto andrà bene il Grand Tour del sistema solare entro gli anni '90 sarà praticamente concluso.

Conoscete Shakespeare?

Questo nostro sistema solare, questa orologeria cosmica che continua a girare da miliardi di anni, un giorno purtroppo rimarrà per sempre al buio: infatti la luce del Sole si spegnerà, e tutta la scena pian piano si oscurerà fino a entrare nelle tenebre.

È questo il destino previsto per il nostro sistema solare (e per tutti gli altri dell'universo) dal Secondo Principio della Termodinamica. Il Sole, infatti, poco alla volta si esaurirà co-

me una pila che si scarica dopo aver ceduto all'esterno la sua energia. Diventerà una « nana bianca », cioè una stellina che col passare del tempo finirà per spegnersi del tutto (parliamo naturalmente anche qui di miliardi e miliardi di anni).

Questo processo di degradazione del potenziale energetico ha un nome, in fisica: si chiama entropia.

È una parola difficile ma che nasconde un concetto, in definitiva, non troppo complicato. E un po' come quei frutti pieni di spine e di aculei, ma che una volta aperti hanno all'interno una polpa gustosa, piena di succhi nutritivi.

È un peccato che questo concetto di entropia venga presentato spesso solo nelle sue formulazioni matematiche, perché se lo si guarda in modo più semplice ci si accorge che l'entropia ci aiuta a capire meglio moltissime cose che vediamo intorno a noi: non solo il funzionamento delle stelle, delle macchine, i problemi energetici, ma anche certi meccanismi che presiedono alla vita e alla morte, e alla stessa evoluzione dell'universo.

Le implicazioni del concetto di entropia sono così importanti e ramificate che Charles P. Snow, autore del famoso saggio sulle « due culture » (cioè sul distacco della cultura classica da quella scientifica), diceva che non conoscere il significato del Secondo Principio della Termodinamica è pressappoco come ammettere, in termini culturali, di non aver mai letto un'opera di Shakespeare o di Dante.

Cerchiamo quindi di penetrare in questo poemetto della fisica.

L'entropia

Prendiamo tre cose familiari: il vento, una macchina a vapore e una centrale termoelettrica.

Sono tre cose molto diverse tra loro, ma tutte collegate da uno stesso principio: quello cioè che per produrre movimento, calore, elettricità, o qualsiasi altra cosa, occorre una *differenza di temperatura.*

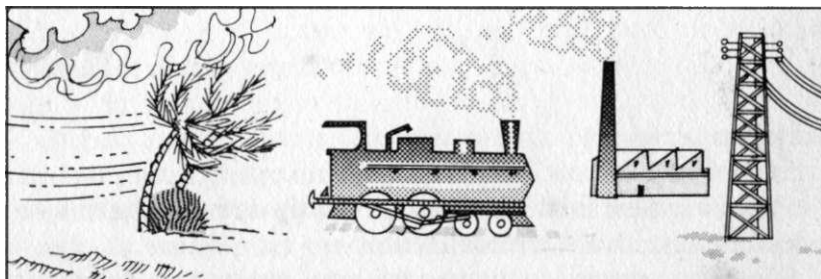
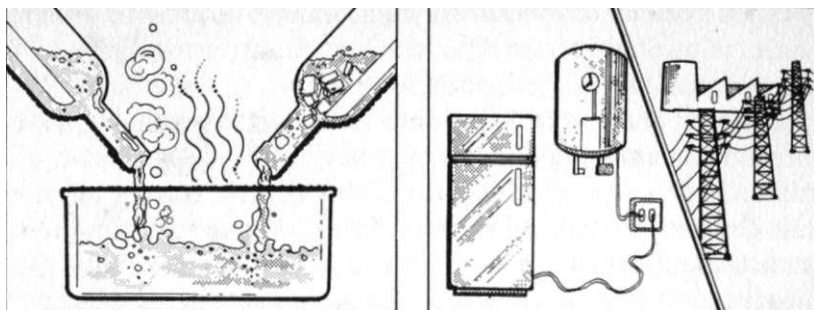
Il vento infatti è proprio il risultato delle differenze di temperatura tra vari strati dell'aria. La macchina a vapore utilizza il fatto che l'acqua cambiando temperatura diventa vapore, si espande, e questa pressione può essere trasformata in movimento meccanico.

La stessa cosa vale per una centrale termoelettrica, dove il vapore prodotto fa girare una turbina che aziona un generatore di corrente elettrica.

Se per ipotesi non ci fossero differenze di temperatura non vi sarebbe niente di tutto ciò: non vi sarebbero venti, né potrebbe prodursi il passaggio dall'acqua al vapore; quindi non potrebbe funzionare né una locomotiva né una centrale termoelettrica. E questo qualunque fosse la temperatura ambientale, *non importa se alta o bassa.*

In altre parole, la mancanza di *differenze* di temperatura condurrebbe a un sistema inerte, praticamente morto, incapace di movimento, di reazioni chimiche, di trasformazioni d'energia, di evoluzione e di vita.

Sarebbe l'entropia generalizzata. Cioè la completa degradazione del potenziale energetico.

Noi, per fortuna, non ci troviamo in questa situazione, almeno per ora (e vedremo poi perché): però le leggi della termodinamica ci spingono continuamente verso questo progressivo livellamento. Per capire meglio le cose facciamo un esempio semplice.

Per produrre movimento, calore o elettricità occorre sempre una differenza di temperatura. Se cessassero sulla Terra tutte le differenze di temperatura non si avrebbe più vento, né caldaie, né centrali termoelettriche. Tutto si fermerebbe. Anche la vita.

Se si versa in una bacinella acqua calda e acqua fredda si ottiene acqua tiepida. Cioè aumenta nel sistema l'entropia (o il «disordine» di molecole). Noi possiamo nuovamente ottenere differenze di temperatura rimettendo l'acqua nel frigorifero o nello scaldabagno: ma così facendo consumiamo energia presa altrove, aumentando ancora l'entropia.

Supponiamo di versare in una bacinella una bottiglia di acqua calda e una bottiglia di acqua fredda.

Se noi riuscissimo a vedere le singole molecole d'acqua ci accorgeremmo che quelle calde sono più agitate, o più « rapide », come si dice, e quelle fredde più calme, o più « lente ».

Venendo a contatto le une con le altre, cosa succede? Esse si mescoleranno naturalmente, e insieme forniranno una temperatura media, cioè acqua tiepida (creando un crescente « disordine » dovuto al rimescolamento delle molecole, contrapposto a una situazione di « ordine » in cui i livelli di temperatura sono separati).

Non solo, ma cominceranno a scontrarsi tra loro, e quelle rapide cederanno energia a quelle lente. Col tempo tenderanno tutte verso una stessa velocità uniforme. Cioè verso una crescente entropia.

Quindi se noi volessimo avere nuovamente acqua calda, per esempio per fare la doccia, o acqua fredda da bere, potremmo fare solo una cosa: aggiungere *altra energia* nel sistema, prendendola dall'esterno. Per esempio utilizzando uno scaldabagno e un frigorifero (e consumando elettricità). Avremmo così nuovamente acqua calda e fredda. Ma solo provvisoriamente. Fin quando c'è energia. Perché una volta esaurita questa

energia esterna l'acqua messa nello scaldabagno e quella messa nel frigorifero tornerebbero a convergere verso una stessa temperatura: quella ambientale.

In altre parole, per mantenere l'acqua costantemente calda o fredda occorrerebbe una fonte energetica *continua* e inesauribile. Altrimenti in assenza di nuova energia pian piano non solo l'acqua, ma tutto il sistema si livellerebbe verso una temperatura uniforme, verso un'entropia sempre più diffusa. Che diverrebbe totale se il sistema fosse chiuso, cioè isolato.

Il diavoletto e l'informazione

Nel secolo scorso, il fisico Maxwell, studiando questo problema della degradazione del potenziale energetico, ebbe una trovata che mise in difficoltà i suoi colleghi.

In sostanza disse: « E se noi mettessimo, in un sistema in cui molecole lente e veloci sono mescolate, un diavoletto capace di separarle nuovamente? In tal caso, senza apporto di nuova energia, ma usando solo funzioni conoscitive, noi saremmo in grado nuovamente di creare zone calde e zone fredde, cioè dei potenziali energetici. »

Questo paradosso fu risolto da Brillouin, il quale dimostrò che il diavoletto, per svolgere le sue funzioni conoscitive, consumava in realtà la stessa quantità di energia che riusciva a recuperare.

In altre parole dimostrò che anche l'informazione necessaria per agire su un sistema è consumatrice d'energia, un'energia presa altrove. Quindi il risparmio è solo apparente.

Anche noi nelle nostre società, come il diavoletto, riusciamo a creare nuovi potenziali energetici attraverso la nostra azione conoscitiva: per esempio attraverso la tecnologia e le invenzioni, come dicevamo prima. Ma in realtà non facciamo altro che inserire nel sistema risorse prese altrove. Per esempio energia solare immagazzinata sotto forma di legna, di carbone o di petrolio.

Anche la nostra cultura, del resto, per svolgere la sua azio-

ne conoscitiva, finisce per consumare una grande quantità di energia presa altrove.

Nel senso che per inserire cultura e intelligenza nel sistema occorrono molti anni di studio e di sviluppo mentale, cose che richiedono molte materie prime ed energia, senza le quali saremmo rimasti ancora tutti a pascolare le pecore.

In proposito si potrebbe anche dire che se una cultura non riesce ad agire intelligentemente sul sistema può addirittura consumare più energia di quella che crea. E diventare, così, parassitaria. Con l'effetto addirittura di accelerare la degradazione.

E quello che sfortunatamente ci sta proprio capitando oggi: noi non siamo infatti capaci di controbilanciare l'energia che sottraiamo con nuove idee. L'attuale crisi energetica è in gran parte una crisi di intelligenza.

La natura, dal canto suo, pur non possedendo cultura e intelligenza, da milioni di anni ha trovato il modo di captare energia in modo estremamente efficiente, tale da rendere possibile la vita. Infatti l'informazione contenuta nel codice genetico consente continuamente di sviluppare strutture « ordinate », in apparente contrasto con il crescente « disordine » dell'entropia.

Tuttavia anche in questo caso la fonte energetica che permette di mantenere queste molecole in ordine proviene sempre dall'esterno: dal Sole. Un sistema vivente, infatti, muore se viene a mancargli la giusta energia, o la giusta informazione. La morte, in questo senso, può essere considerata uno stato di entropia.

Tutto ciò può parere complicato, ma in fondo non lo è. Vediamo di riassumere: il Sole crea sul nostro pianeta le condizioni perché tutto si muova, si sviluppi, viva. Crea cioè differenze di temperatura nell'aria, provocando i venti, l'evaporazione delle acque degli oceani, le piogge.

Attraverso il codice genetico, la sua energia viene immagazzinata dai vegetali, che diventano legna o carbone; o dai microorganismi che si sono poi trasformati in petrolio o gas metano. O diventa energia alimentare per gli animali, in for-

ma diretta o indiretta: cioè vegetali per gli erbivori, i quali forniscono poi la propria carne ai carnivori.

Ma se si spegne la grande lampada solare, tutto si ferma come una giostra senza corrente. Cessano le differenze di temperatura e quindi si degradano i potenziali energetici che sono alla base delle interazioni fisiche, delle reazioni chimiche e della vita.

Da quanto sappiamo oggi il Sole un giorno purtroppo esaurirà effettivamente il suo carburante nucleare, e dopo varie peripezie si spegnerà, anche se ciò avverrà tra parecchi miliardi di anni. I fisici ritengono che la stessa sorte toccherà a tutte le stelle, e che a un certo punto le luci dell'universo si spegneranno a una a una come a teatro: lasciando un buio pieno di oggetti spenti in continua degradazione di energia.

Potrebbe essere questa, in base a certe teorie, la morte dell'universo.

Se le cose andassero veramente così, sarebbe la fine della rappresentazione.

E assumerebbe allora tutto il suo significato drammatico un termine in apparenza così arido e tecnico: quello di « massima entropia ».

I cacciatori di neutrini

Naturalmente le cose andrebbero in modo molto diverso se l'universo, invece di espandersi senza fine, tornasse nuovamente a contrarsi. Cioè se, come alla moviola, tornasse indietro, riconvergendo nuovamente verso un punto: quello da cui era emerso circa 18-20 miliardi di anni fa con un'esplosione cosmica iniziale, il famoso Big Bang.

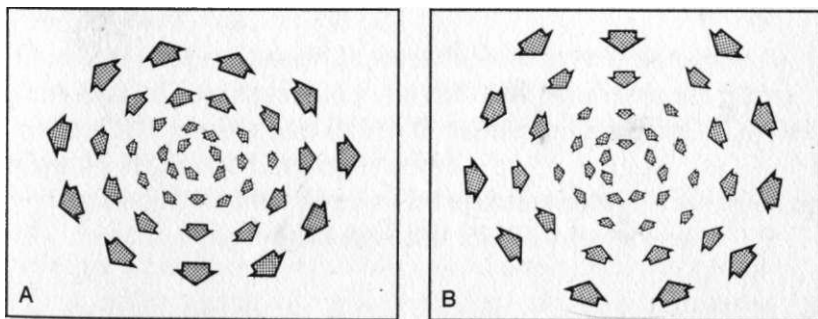
Ma per quale ragione l'universo dovrebbe tornare indietro, « collassando » su se stesso? Ciò avverrebbe, ci dicono gli astrofisici, se ci fosse una sufficiente massa gravitazionale.

Questo concetto è comprensibile con un semplice esempio, anche se approssimativo. Pensate di lanciare in aria una manciata di ghiaia: se vi trovaste non sulla Terra, ma su un piccolo

asteroide, la ghiaia se ne andrebbe nello spazio, perché l'asteroide non avrebbe una sufficiente attrazione gravitazionale per vincere la velocità con la quale i sassolini si stanno allontanando.

Se invece che su un asteroide foste sulla Luna la ghiaia a un certo punto comincerebbe a rallentare e (se la velocità con cui l'avete « sparata » non fosse troppo elevata) a un certo momento si fermerebbe e comincerebbe a ridiscendere. Facendo lo stesso esperimento sulla Terra sappiamo invece che la ghiaia vola in alto per qualche metro e poi ripiomba al suolo.

Detto in altre parole, più la massa è grande (asteroide, Luna, Terra) più la ghiaia viene « richiamata » dall'attrazione gravitazionale. Nell'universo le cose vanno allo stesso modo. Le galassie sono come « ghiaia » lanciata nello spazio dal Big Bang: se l'attrazione gravitazionale non è sufficiente se ne voleranno via per sempre, altrimenti potranno essere « richiamate » e collassare verso il punto iniziale. Ma chi fornisce questa attrazione gravitazionale? Dicono i fisici: la materia stessa che costituisce l'universo, cioè le stelle, i pianeti, i gas interstellari.

Fatti i conti, essi ritengono che la massa attuale dell'universo non consenta un ritorno indietro delle galassie: non esiste cioè abbastanza materia per un sufficiente « tiro » gravitazio-

A - L'attuale espansione dell'universo, secondo certi calcoli, dovrebbe durare per sempre. E tutte le stelle dovrebbero spegnersi, una volta esaurito il loro carburante (entropia). B - Ma se i neutrini avessero una massa (sia pur piccolissima) potrebbero far ricollassare l'universo (per gravitazione) verso un solo punto. Potrebbe allora seguirne un nuovo Big Bang?

nale. Se le cose stanno così tutte le galassie e le stelle si spegneranno, volando via per sempre in un Universo buio, in perenne espansione. Ma forse non è detta l'ultima parola. Secondo certe teorie i neutrini potrebbero avere una massa: una massa piccolissima, infinitesimale, ma sufficiente a pareggiare il conto. E a provocare il collasso dell'universo.

In tal caso la ricompressione della materia provocherebbe tali pressioni e temperature che l'universo potrebbe riesplodere e ricominciare un nuovo ciclo d'espansione con un nuovo Big Bang.

E il cosiddetto « modello oscillante », cioè un susseguirsi di espansioni e di collassi.

Molte ricerche sono in corso sui neutrini e vedremo cosa ne uscirà fuori: se hanno, oppure no, questa famosa massa. Non sarebbe la prima volta che una particella piccola piccola cambia l'orizzonte delle nostre conoscenze.

Per intanto l'entropia continua. Continua non solo a ogni raggio di sole emesso, ma continua anche ogni volta che consumiamo energia accendendo una lampadina, o mettendo in moto una macchina, o anche ogni volta che respiriamo.

Infatti, come dicevamo prima, l'entropia può considerarsi una forma di degradazione anche dei sistemi viventi, e la vita un continuo tentativo di « mettere dell'ordine » tra le molecole, cioè di contrastare e negare l'entropia (« neghentropia »).

La lotta contro l'invecchiamento

Questa lotta continua tra la vita e la morte, cui assistiamo ogni giorno in natura, ha un aspetto drammatico che riguarda ogni singola struttura vivente: cioè il progressivo e inevitabile deterioramento della macchina biologica sotto forma di malattie e di invecchiamento. Anche se l'immagine è un po' ardita si può così parlare di una crescente entropia del nostro corpo, nel senso soprattutto che l'informazione necessaria a farlo funzionare subisce un continuo degrado.

In questo capitolo parleremo di tre aspetti di questo crescente « disordine » molecolare delle strutture viventi, esaminando tre aspetti della moderna ricerca medica, impegnata più che mai nella lotta per rallentare la morte e aumentare le *chances* della vita.

Questi tre aspetti sono: le ricerche sull'invecchiamento, sulla possibilità di rigenerare i tessuti cellulari per mezzo dei trapianti embrionali, e sulla possibilità di capire (e aggredire) il grande nemico del nostro tempo: il cancro.

Cominciamo dunque con l'invecchiamento, e vediamo cosa si è riusciti a capire dei processi che lo producono.

L'orologio dell'età **(di Giangi Poli)**

Con intrugli di ogni genere, dagli elisir di lunga vita fino alle più recenti iniezioni di feto d'agnello, si è cercato vanamente

(e spesso pericolosamente) di allungare la vita umana. L'unico vero risultato è stato quello di arricchire ciarlatani e pseudoscienziati di ogni tipo in ogni epoca.

Negli ultimi decenni, nei Paesi più sviluppati, i progressi della medicina, che ha sconfitto innumerevoli malattie, hanno fatto aumentare enormemente il numero delle persone anziane. Forse anche per questo motivo, e soltanto da 4 o 5 anni, la genetica e l'ingegneria genetica hanno cominciato a interessarsi seriamente alla questione dell'invecchiamento umano.

Due sono gli orientamenti della ricerca su questo argomento. Per il primo l'età della nostra morte, la morte naturale (non quella per malattia), è fissata, fin dall'inizio della vita, attorno ai 110 anni. Nessun uomo è vissuto più di 110 anni, come nessun topo più di 3 e nessun cane più di 24 anni.

Ogni specie animale ha una sua durata della vita, una durata che sarebbe quindi fissata geneticamente fin dall'inizio. Una specie di nastro magnetico che a un certo punto finisce.

La seconda ipotesi paragona lo scorrere della nostra vita a un disco che gira, gira e si consuma sempre di più e sempre più velocemente. Le cellule, quelle singole unità biologiche che a miliardi costituiscono i tessuti del nostro corpo come tanti mattoncini di una grande costruzione, si riproducono in continuazione. Riproducendosi esse commetterebbero, diciamo così, una serie di piccoli errori, che darebbero luogo ad altri errori e così via.

L'invecchiamento e la morte sarebbero quindi il risultato di un accumulo di errori dovuti alla continua ripetizione della suddivisione cellulare. Come avviene per l'accumulo di usura in un disco troppo usato.

Nel primo caso si potrebbe cercare di modificare il programma genetico iniziale per tentare di allungare la durata della vita, nel secondo si potrebbe, per così dire, evitare la ripetizione degli errori nella duplicazione delle cellule per vivere più a lungo.

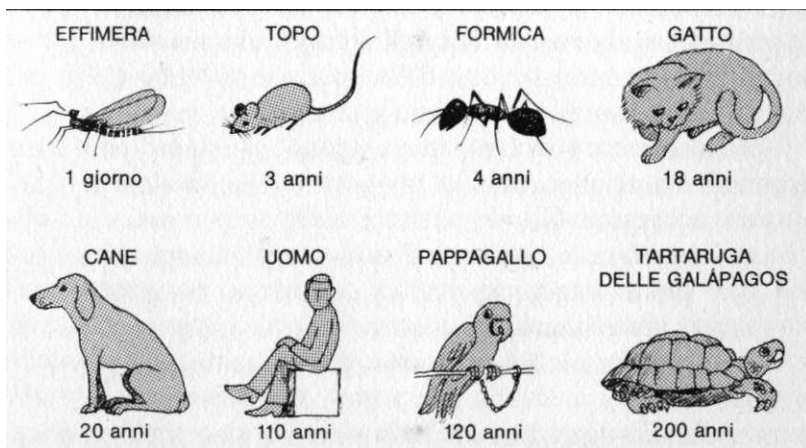
Sono forse possibilità per il futuro lontano. Per ora, più realisticamente, si cerca solo di comprendere meglio i meccanismi dell'invecchiamento alla luce di queste ipotesi. Vedia-

mo come si è arrivati alla prima teoria, quella del programma genetico.

Le cellule del nostro corpo si moltiplicano suddividendosi. Da una cellula avranno origine 2 cellule, poi 4, poi 8, poi 16, poi 32 e così via. In laboratorio, se noi mettiamo un gruppo di cellule umane in un piattino, a certe condizioni, queste cellule prima o poi raddoppieranno di numero e poi raddoppieranno ancora. Come si dice in termini scientifici, in coltura la popolazione delle cellule raddoppia.

Per moltissimo tempo gli scienziati pensarono che questo raddoppio potesse continuare all'infinito. Se questo non avveniva, e la popolazione smetteva di raddoppiare, si pensava a qualche errore del ricercatore o a qualche intervento esterno.

Quindici anni fa il professor Léonard Hayflick, microbiologo della Scuola di Medicina della Stanford University negli Stati Uniti, scoprì che la popolazione delle cellule umane in coltura raddoppiava solo 50 volte. Poi le cellule morivano come se fossero state programmate dall'inizio per vivere solo fino a quella età.

La cosa più interessante scoperta dal gruppo del professor Hayflick è che, mentre il gruppo delle cellule giovani (embrio-

Durata della vita. Ogni specie vivente ha un suo «orologio» vitale che sembra regolato da un programma interno, genetico. Cosa c'è alla base di questo programma?

nali) dell'uomo raddoppia 50 volte, il gruppo delle cellule dell'uomo adulto raddoppia soltanto 20 volte, o anche meno, in stretta dipendenza dall'età. Sembra quasi che nel nucleo delle cellule umane vi sia un orologio che stabilisce il numero dei raddoppiamenti dei gruppi di cellule e determini fin dall'inizio il momento della morte di ciascuno di noi.

Hayflick trovò anche che il gruppo delle cellule di topo in coltura raddoppiava solo 12 volte. E che quello delle tartarughe delle Galapagos raddoppiava 125 volte. La lunghezza della vita dell'uomo, del topo, delle tartarughe sembrava dunque proporzionale a questi raddoppi. Infatti sappiamo che l'uomo vive al massimo 110 anni, il topo 3, la tartaruga delle Galapagos più di 200 anni.

Incuriosito, il professor Hayflick ha recentemente trapiantato il nucleo delle cellule delle tartarughe delle Galapagos nelle cellule del topo per vedere di aumentare il numero naturale di raddoppi del gruppo delle cellule del topo. E un esperimento affascinante non ancora terminato.

Il limitato numero di raddoppi della popolazione cellulare, in coltura e in natura, fa oggi pensare al professor Hayflick che il materiale genetico all'interno di ogni cellula tenda a programmare lo sviluppo di un organismo solo fino alla sua maturità sessuale e che poi lo abbandoni a sé stesso. Dopo la riproduzione e la nascita dei figli il corpo umano non sarebbe più utile alla continuazione della specie e avrebbe (si fa per dire) il permesso di invecchiare e di morire.

Volendo tentare di fare un paragone, possiamo pensare a degli scienziati che abbiano progettato un missile che deve passare accanto a Giove, scattare delle foto e inviarle sulla Terra. Compiuta la missione il razzo continua senza scopo il suo volo nello spazio e ai tecnici che hanno progettato quel complesso macchinario non interessa ormai sapere quale sistema — quello elettrico, quello di raffreddamento, quello propulsivo — va in avaria per primo. Analogamente, ciò che accade dopo la riproduzione sessuale sembra essere geneticamente irrilevante. Ormai il sistema ha compiuto la sua missione.

Se la lunghezza della vita per ogni specie vivente sembra essere programmata geneticamente fin dall'inizio, quali sono i motivi dell'invecchiamento? O più precisamente: cosa fa invecchiare il corpo umano e quali sono i motivi di tutta quella serie di acciacchi che affligge chi invecchia?

L'invecchiamento, secondo alcuni scienziati, sembra essere un processo intimamente legato (se non addirittura prodotto) all'indebolimento progressivo del sistema di difese immunitarie che ci protegge dall'attacco esterno dei virus e batteri, per esempio. Le ricerche sul declino delle difese immunitarie con l'età stanno oggi puntando la loro attenzione sulla ghiandola chiamata timo. Il timo, che è nella parte alta del petto, comincia a declinare quando molti altri organi stanno ancora crescendo. È possibile che questo progressivo declino apra la strada a tutta una serie di processi che indeboliscono le difese immunitarie? E cosa si può fare per rimpiazzare le deficienze del timo e quindi migliorare il processo di invecchiamento?

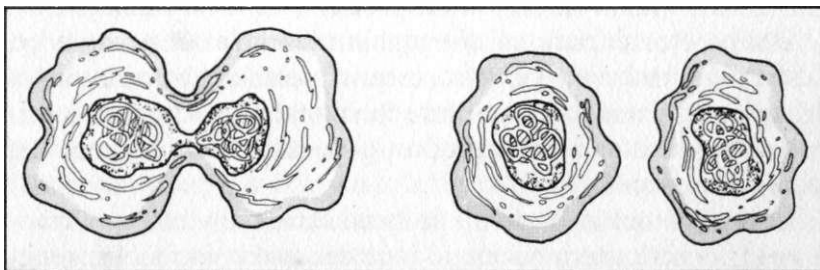
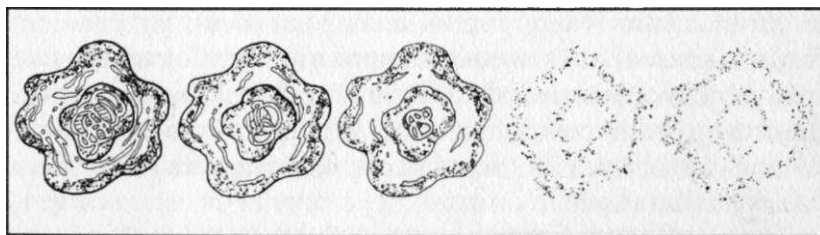
Il timo è essenziale nel sistema immunitario, ma raggiunge il suo massimo sviluppo alla maturità sessuale, attorno ai 14-15 anni. Poi comincia a perdere funzionalità molto tempo prima che appaiano i sintomi di un generale indebolimento del sistema immunitario.

Il sistema immunitario ha funzioni estremamente importanti per la nostra sopravvivenza. Uno dei suoi componenti genera gli anticorpi che ci proteggono dalle infezioni. Un altro agisce come una sentinella che riconosce chi si avvicina, dividendo gli intrusi in amici e nemici. Quando una persona invecchia le difese contro le aggressioni divengono meno vigorose e il sistema immunitario compie sempre più errori confondendo amici e nemici, e arrivando addirittura ad attaccare e a tentare di distruggere le cellule dello stesso corpo. Sono le malattie dette da autoimmunità. Si pensa che una di queste malattie sia l'artrite reumatoide.

Altri ricercatori sospettano che i meccanismi dell'autoimmunità abbiano a che fare con gli attacchi cardiaci; altri ancora pensano che l'indebolimento delle difese immunitarie con-

tro le cellule anormali sia uno dei motivi dell'aumento dei processi tumorali con l'età.

Uno dei più strenui fautori dell'ipotesi che la perdita delle difese immunologiche sia responsabile dell'invecchiamento è il professor Roy L. Walford dell'Università di California a Los Angeles secondo il quale l'invecchiamento sarebbe dovuto alla progressiva impossibilità per le cellule di riparare i danni (o « errori ») che avvengono nel processo di duplicazione cellulare.

I globuli bianchi (che ci difendono dagli aggressori esterni) sanno cosa debbono eliminare e cosa non debbono eliminare, e questa loro possibilità viene trasmessa da cellula madre a cellula figlia e così via. E una informazione genetica. Quest'informazione, con il passare degli anni diventa sempre più sbiadita, come se usassimo la copia carbone di una copia carbone, finché le cellule dell'uomo anziano faranno fatica a ri-

Una delle ipotesi sull'invecchiamento è che le cellule perdano progressivamente la capacità di riparare i danni che avvengono durante la loro duplicazione.

È come se si usasse la copia carbone di una copia carbone. Con l'invecchiamento, per esempio, i globuli bianchi perderebbero la loro capacità di riconoscere correttamente gli aggressori.

I

conoscere ciò che debbono aggredire e ciò che non debbono aggredire e lasceranno entrare gli invasori, i batteri, i virus, o le cellule anormali. È come se fosse un disco troppo usato che non rende più la musica incisa con la stessa fedeltà.

Se le cose andassero in questo modo, senza qualche intervento riparatore, la nostra vita sarebbe molto più breve. Esistono per fortuna dei « meccanismi di riparazione » che aggiustano per quanto possono gli errori che avvengono nella duplicazione delle cellule. Se questi meccanismi funzionano regolarmente vivremo a lungo; se non funzionano (o perdono a loro volta forza), vivremo meno. In poche parole: chi ripara meglio vive di più. E non solo fra gli uomini, ma anche fra gli animali. Le tartarughe delle Galapagos riparerebbero meglio di tutti i loro errori. E infatti sono gli animali che vivono più a lungo.

Dove si trovano questi « meccanismi di autoriparazione »? Secondo il professor Walford essi sono controllati da alcuni geni situati nel 6° cromosoma umano. Cercando di agire su questi geni con l'aiuto dell'ingegneria genetica si potrebbero mettere, in un certo senso, le cose a posto. E se non proprio aumentare la durata della vita (che come abbiamo visto all'inizio è legata al numero di suddivisioni dei gruppi delle nostre cellule), almeno permetterci di giungere alla fine dei nostri giorni fissati dall'orologio biologico senza tutti quegli acciacchi e invalidità che rendono in molti casi così penosa la nostra vecchiaia.

Altri ricercatori fra i quali il dottor Weksler del Cornell University Medicai College mettono in guardia dal considerare l'invecchiamento un effetto di una sola causa, per esempio l'indebolimento del sistema immunitario. Ci sono molti altri cambiamenti che avvengono nell'età avanzata che non si possono spiegare in questo modo: per esempio la rigidità del cristallino dell'occhio, l'ingrossamento della parete del ventricolo sinistro del cuore, l'aumento delle cartilagini che fanno aumentare la grandezza del naso e delle orecchie e molti altri fenomeni. Se gli studi sul sistema immunologico potranno farci avere una buona vecchiaia, resta ancora da spiegarsi perché

è geneticamente scritto che non si possano superare i 110 anni. Ed è ancora da trovarsi la gomma che cancelli questa scrittura genetica.

Le cellule contorsioniste

In attesa di questa gomma da cancellare, che per ora sembra molto problematica da trovare, non rimane ora che ricorrere a qualche « correzione a penna ». Cioè tentare di mettere delle pezze e dei rattoppi alle parti guaste, con un lavoro sempre più sofisticato di rammendo.

C'è oggi un nuovo campo di indagine che appare di grande interesse, e che forse può aprire nuove prospettive allo sviluppo della medicina: il trapianto di embrioni.

C'è infatti una cosa che colpisce nello studio degli esseri viventi: l'estrema adattabilità delle cellule quando sono nella *prima fase* dello sviluppo.

Sappiamo tutti, ovviamente, che più un organismo è giovane più si adatta facilmente. Per esempio nell'età adulta è praticamente impossibile diventare contorsionisti, mentre se si comincia sin dalla nascita senza molto sforzo chiunque può arrivare ad annodarsi i piedi dietro la nuca.

Per le cellule succede un po' la stessa cosa. La loro adattabilità diminuisce col tempo. La cosa curiosa, però, è che dal punto di vista biologico le cellule di un neonato sono già vecchie, nel senso che sono già molto specializzate. Per trovare cellule estremamente adattabili, capaci di essere aperte a ogni cambiamento, bisogna risalire molto più indietro, e bisogna arrivare alle cellule della prima fase dello sviluppo dell'organismo: quella dell'embrione. In quella fase l'adattabilità è estrema.

Da vario tempo i biologi stanno studiando come utilizzare questa straordinaria capacità di adattamento che hanno le cellule embrionali per aiutare l'uomo nelle sue malattie. Alcuni studi, sia pure ancora sperimentali, sono ora in corso. Si tratta di ricerche che, se manterranno le promesse attuali, potrebbe-

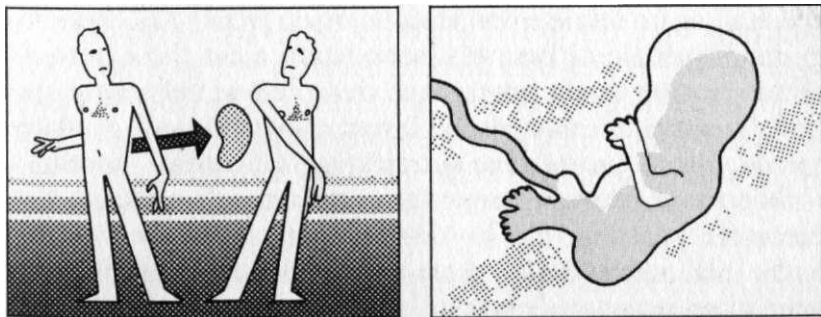
ro essere tra le più rivoluzionarie nella ricerca biologica medica: lo scopo è infatti quello di utilizzare cellule dell'embrione o del feto per *rigenerare* degli organi malati.

Un nuovo tipo di trapianto

(di Giangi Poli)

La riuscita del trapianto di un organo da un donatore a un malato è strettamente legata, come è noto, alla soluzione del problema del rigetto dell'organo trapiantato da parte dell'organismo ospitante, un rigetto causato dalle difese immunitarie del malato stesso.

Le cellule del malato riconoscono come estranee le cellule dell'organo trapiantato, alla pari di qualsiasi virus aggressore, e prima o poi le combattono e le distruggono. I trapianti di organi di feto, anche umano, sembrano invece aggirare questo ostacolo.

È un risultato legato al fatto che nei primi mesi di gestazione le cellule degli organi fetali in formazione non sono ancora completamente differenziate: in un certo senso non hanno ancora una loro identità precisa. Nei trapianti di organi fetali, le cellule sono riconosciute con molta maggiore difficoltà, o non

Un individuo adulto non può donare organi per il trapianto senza provocare una reazione immunitaria nel ricevente. Gli organi dell'embrione non sembrano invece provocare rigetto nei riceventi. Una nuova tecnica si sta sviluppando per utilizzare questa eccezionale caratteristica.

sono riconosciute affatto, dall'organismo del malato, e si adattano alla nuova situazione senza scatenare la reazione di rigetto.

Gli studi sull'argomento sono cominciati alcuni anni fa e, come sempre accade in questi casi, sono stati condotti sugli animali. Alcuni risultati estremamente promettenti sono stati trasferiti all'uomo. Considereremo tre casi. Un tipo di trapianto fetale sull'uomo, qui in Italia a Pesaro, e due altri trapianti fetali fra animali effettuati in America.

Il primo riguarda l'aplasia midollare e la leucemia. Il secondo la mancanza di difese contro virus e batteri. Il terzo il diabete.

Nell'Ospedale di Pesaro si cerca di curare con i trapianti di organi fetali la leucemia, una gravissima malattia che distrugge la capacità del midollo osseo di produrre i globuli bianchi, i globuli rossi e le piastrine del sangue. Nella leucemia l'ultima speranza è la sostituzione completa del midollo malato con un midollo sano di un fratello o di una sorella, se sono adatti. Questa possibilità si presenta per circa il 30% dei malati. Per gli altri, se fosse usato un midollo osseo non identico, si verificherebbe una pericolosa aggressione da parte del midollo osseo trapiantato contro l'organismo del malato.

Questa aggressione toglieva ogni speranza di rallentare il decorso della leucemia fino a quando il professor Lucarelli non ha cominciato a trapiantare il fegato fetale umano. E perché mai fegato fetale e non midollo osseo fetale? Gli ematologi dell'Ospedale di Pesaro si sono rifatti a ciò che è noto da tempo, e cioè che la produzione delle cellule del sangue durante la vita fetale avviene nel fegato e solo più tardi, gradatamente, questa produzione si trasferisce nel midollo osseo.

Dopo aver provato e riprovato sugli animali, a Pesaro i ricercatori, pensando che lo stesso fenomeno potesse avvenire anche nell'adulto della specie umana, hanno iniettato nelle vene di un malato di leucemia cellule di fegato fetale. Queste cellule, come ci si aspettava, sono migrate fino al midollo distrutto dalla malattia e lì si sono messe a produrre sangue normale.

Questa terapia d'avanguardia ha permesso di limitare e spesso di eliminare il pericolo delle malattie d'aggressione. Le cellule del fegato fetale, non essendo ancora completamente differenziate all'età nella quale vengono usate (e cioè alla fine del 4° mese di gestazione), non hanno sviluppato ancora la capacità di aggredire l'organismo che le riceve.

Questo successo non deve però far pensare che la leucemia sia stata vinta. In realtà si è ritardato soltanto il suo decorso. A Pesaro infatti sottolineano che, malgrado questo grande passo avanti, non si è ancora purtroppo arrivati a nessuna guarigione completa.

All'Ospedale di Pesaro gli organi dei feti, per lo più abortiti spontaneamente o terapeuticamente, arrivano, come qualunque altro organo da trapiantare, con le moto della Polizia Stradale, le macchine dei Carabinieri e, qualche volta, con gli elicotteri della Marina e dell'Esercito. Il problema sorge quando non si trovano organi fetali nel momento consigliabile per il trapianto. O quando, viceversa, vi sono organi fetali disponibili in un momento non adatto al trapianto. E allora?

La disponibilità immediata degli embrioni e dei feti che altrimenti andrebbero perduti è tutta da organizzare e con urgenza. A Pesaro si sta costituendo una banca di organi fetali congelati: il fegato, il timo, la milza, il midollo osseo ecc., dopo aver superato una quantità di difficoltà per evitare la loro distruzione al momento del congelamento.

I tentativi di curare la leucemia nell'uomo con i trapianti fetali sono stati resi possibili da tutta una serie di sperimentazioni sugli animali ai quali non si deve mai abbastanza riconoscenza. Sugli animali lavora per ora anche il professor Lance Perriman dell'Università dello Stato di Washington, a Pullman vicino a Seattle.

È il secondo caso. Un'altra gravissima malattia che si cerca di sconfiggere con l'impiego dei trapianti fetali è l'immunodeficienza congenita. I bambini che nascono con questa malattia non reagiscono normalmente, come ognuno di noi, all'assalto quotidiano di milioni di batteri e virus, e non oppon-

gono quindi resistenza alle infezioni. Il comune raffreddore può così diventare mortale.

Per poter sopravvivere, i piccoli malati devono essere messi per tutta la vita in un ambiente artificiale privo di germi, una specie di cabina di vetro dove cibo, giocattoli, libri e ogni altra cosa debbono essere introdotti sterilizzati.

A questo drastico sistema si aggiungono i tentativi di creare un sistema immunitario nel loro corpo. Il metodo migliore è quello di effettuare un trapianto di midollo osseo prelevato da un fratello o da una sorella, se adatti. È un po' quello che avviene nel caso della leucemia.

E per chi non ha un donatore identico? In questo caso si è tentato il trapianto di una miscela di cellule di timo, una ghiandola molto importante nei bambini, e di fegato, entrambi ottenuti da un embrione umano abortito.

I casi di tentativi riusciti sono, purtroppo, ancora pochi e incerti. Questo sembra dovuto, secondo i ricercatori che si occupano di questo tipo di trapianti, alla insufficiente conoscenza di tutti quei fattori variabili che debbono essere tenuti presenti per la riuscita di queste terapie, che fino a oggi sono state usate solo in casi disperati.

Gli animali che sono usati per saperne di più a Pullman sono cavalli di razza araba, in alcuni dei quali è stata provocata artificialmente l'immuno-deficienza, simile a quella dei bambini. Le cellule del timo e del fegato di un feto di cavallo sano vengono iniettate nelle vene del cavallo malato. Anche se non si è ancora riusciti a guarire completamente la malattia, si è potuta osservare alcune volte la ricomparsa delle difese dell'organismo ai batteri e ai virus.

Anche senza risultati clamorosi la ricerca ha dato però già molti frutti. Si è determinata con esattezza l'età del feto che è più adatta per questi trapianti e che deve essere compresa fra il settantacinquesimo e l'ottantacinquesimo giorno di gestazione. Utilizzando organi di feti di cavallo in stato di sviluppo più avanzato si corre il rischio che le cellule siano più differenziate e che avvengano reazioni di rigetto mortali.

Questi e altri dati, così ottenuti, se da un lato aumentano la

possibilità di curare la malattia artificialmente indotta nei cavalli, dall'altro permettono di creare un modello animale che farà aumentare le possibilità di salvare, prima o poi, i bambini senza difese immunitarie.

E siamo arrivati al terzo caso. Nell'Università di California a Los Angeles, il dottor Joshua Brown, che dirige la Divisione di Endocrinologia, è riuscito a far regredire e scomparire il diabete nei ratti trapiantando nel pancreas dell'animale malato il minuscolo pancreas prelevato da un embrione sano di ratto. Senza rigetto è avvenuta una vera e propria rigenerazione dell'organo malato.

La trasposizione dei dati ottenuti sugli animali all'uomo deve sempre procedere con cautela e non è sempre detto che riesca, ma il dottor Brown ritiene che, anche se dovrà passare ancora del tempo, si possa curare il diabete umano con il trapianto fetale. In questo senso ha già ottenuto qualche anticipazione di esito favorevole.

Il rigetto degli organi trapiantati non è il solo ostacolo alla riuscita di queste operazioni. Negli Stati Uniti come in Italia ancor più grave è, senza dubbio, la mancanza di organi vitali nel luogo e nel momento giusto. E se questa carenza può venire superata con le banche d'organi normali il problema sembra accentuarsi e diventare quasi insolubile con gli organi fetali, a causa della carica emotiva che circonda il tema dell'aborto, anche quello spontaneo o terapeutico. Se almeno si potessero raccogliere gli organi embrionali umani che oggi vengono dispersi, questi potrebbero prolungare, o salvare, la vita di molti malati, come avviene con qualsiasi altro organo.

Dentro i meccanismi

Queste ricerche sono un esempio di come si cominci pian piano a entrare nei meccanismi cellulari delle malattie. Si parlava prima della leucemia, che è una delle tante forme cancerose (è il cancro del sangue): oggi un'altra grande battaglia è

in corso per cercare di affrontare il grande nemico dell'uomo, appunto il cancro.

Si ha sempre l'impressione che, malgrado gli sforzi, l'impegno di tanti studiosi e i progressi della biologia e della medicina, in questo campo non si siano fatti grandi passi avanti. In realtà alcune forme tumorali sono oggi curabili, se prese in tempo, e in ogni caso la vita del malato può essere molto allungata.

È però anche vero che per gran parte delle forme di cancro la ricerca è sempre in attesa di trovare la chiave giusta. Uno dei problemi è che si tratta di un male con una incubazione spesso molto lunga, che può durare dieci anni o anche più. Quando esso si rivela le dimensioni della malattia sono ormai difficilmente contenibili. È un po' come per certi denti apparentemente sani, che si cominciano a curare quando fanno male: in quel momento ci si rende conto che la carie ha fatto tali e tanti danni all'interno che il dente è ormai compromesso.

Cosa si sa oggi del meccanismo dei tumori? Come nascono, come si sviluppano? E quali sono le prospettive di cura? Sono domande difficili: ma qualche parziale risposta comincia a emergere. Eccone qualcuna.

La battaglia contro il cancro

(di Marco Visalberghi)

« Da lungo tempo soffriva di un male inguaribile », « Stroncato prematuramente da un male incurabile », sono frasi che capita spesso di leggere o sentire; il male in questione è il cancro, lo sappiamo tutti, ma il riserbo nel nominarlo, il ricorrere a eufemismi che così frequentemente stampa e televisione adottano ricorda tanto il tabù che avvolgeva la tubercolosi nel secolo scorso. Quando i nostri nonni presi dallo stesso atteggiamento scaramantico parlavano di « mal sottile ».

Il cancro non è la prima malattia tra le cause di morte, le

affezioni cardio-vascolari lo superano di gran lunga; ciononostante è certamente la malattia oggi più temuta. Evitare di nominarla, magari anche di parlarne, non aiuta a esorcizzare la paura, né tanto meno a tenerla lontana. Forse sarebbe più utile cercare di capire quali sono i meccanismi che permettono la nascita e la crescita di un tessuto tumorale, e quali sono le prospettive che ci si aprono davanti per limitare e combattere i danni che il cancro causa, cercando una risposta alle domande che vengono immediatamente alla mente ogni volta che ci capita di sentirlo nominare.

La prima domanda è perché mai le cellule tumorali si riproducono in modo più veloce delle cellule normali. Ho avuto occasione di parlarne a lungo con un biologo di origine italiana, Renato Baserga, che ora dirige a Filadelfia uno dei centri più attivamente impegnati nella ricerca sui tumori. Baserga mi spiegava in quella occasione come fosse di fondamentale importanza, per capire cos'è un tumore, pensare al nostro corpo come a un insieme di cellule che devono sapersi duplicare in modo ordinato ma continuo. Un individuo adulto è composto da circa 10.000 miliardi di cellule, e di queste circa 1000 miliardi, vale a dire il 10%, muoiono ogni giorno e vengono prontamente rimpiazzate da nuove cellule. In questo continuo processo di rinnovamento le cellule che muoiono devono venire velocemente sostituite, ma è fondamentale che la duplicazione cellulare si arresti non appena il numero delle cellule è reintegrato.

La crescita di un tessuto dipende essenzialmente dal rapporto tra i fattori di crescita presenti nell'ambiente e il numero complessivo delle cellule. In altre parole, questo vuol dire che le cellule sanno riconoscere la quantità di fattori di crescita — la quantità per esempio delle sostanze nutritive presenti intorno a loro — e su questa base si duplicano fino a raggiungere il livello ottimale consentito da quella quantità di fattori di crescita.

Per fare un esempio, in presenza di una concentrazione di siero del 10%, le cellule crescono fino a raggiungere il numero di 10 milioni, mentre se la concentrazione di siero fosse solo

dell'1%, le cellule smetterebbero di crescere raggiunto il numero di un milione di unità.

Le cellule tumorali invece non sembrano riconoscere questi limiti, e continuano a duplicarsi anche in situazioni in cui le cellule normali si fermerebbero. In una concentrazione di siero dell'1%, per esempio, continuerebbero a crescere fino a diventare 10 milioni. Anche un tumore segue un programma di crescita che ne limita e controlla lo sviluppo, come avviene nei tessuti normali, ma i suoi meccanismi hanno una *diversa* regolazione. « Un tessuto tumorale non è caratterizzato da una crescita caotica e sregolata, come spesso siamo portati a credere, » tiene a sottolineare Baserga. « Un tumore va considerato come un tessuto che risponde a una regolazione diversa. Qualcosa di simile a un individuo che ha la febbre: il suo sistema termoregolatore è semplicemente regolato a 40 °C anziché ai normali 36. »

Un'ipotesi che è stata avanzata a spiegazione di questa differenza ci fa risalire molto indietro nella storia dell'evoluzione, fino ad arrivare agli esseri unicellulari. Per queste forme di vita la capacità di riprodursi anche in presenza di limitati elementi nutritivi rappresentava certamente un vantaggio selettivo non indifferente. Quando le cellule hanno cominciato ad aggregarsi dando origine ai primi esseri pluricellulari, è verosimile che siano comparsi anche dei meccanismi a livello genetico tesi a limitare le tendenze riproduttive delle singole cellule, subordinandole agli interessi dell'organismo nel suo complesso. Potremmo quindi pensare che il nastro del **DNA** si sia allungato e abbiano fatto la loro comparsa vari geni — in sostanza nuove istruzioni — con il compito di ridurre e controllare la capacità riproduttiva iniziale. E verosimile pensare che, man mano che gli esseri viventi sono diventati sempre più complessi e le cellule sempre più specializzate, anche i geni che controllano la duplicazione sono diventati sempre più numerosi. Sappiamo che nella mosca dell'aceto questi geni sono 32, mentre i genetisti ritengono che nell'uomo superino il centinaio.

Quando i geni che controllano la duplicazione cellulare

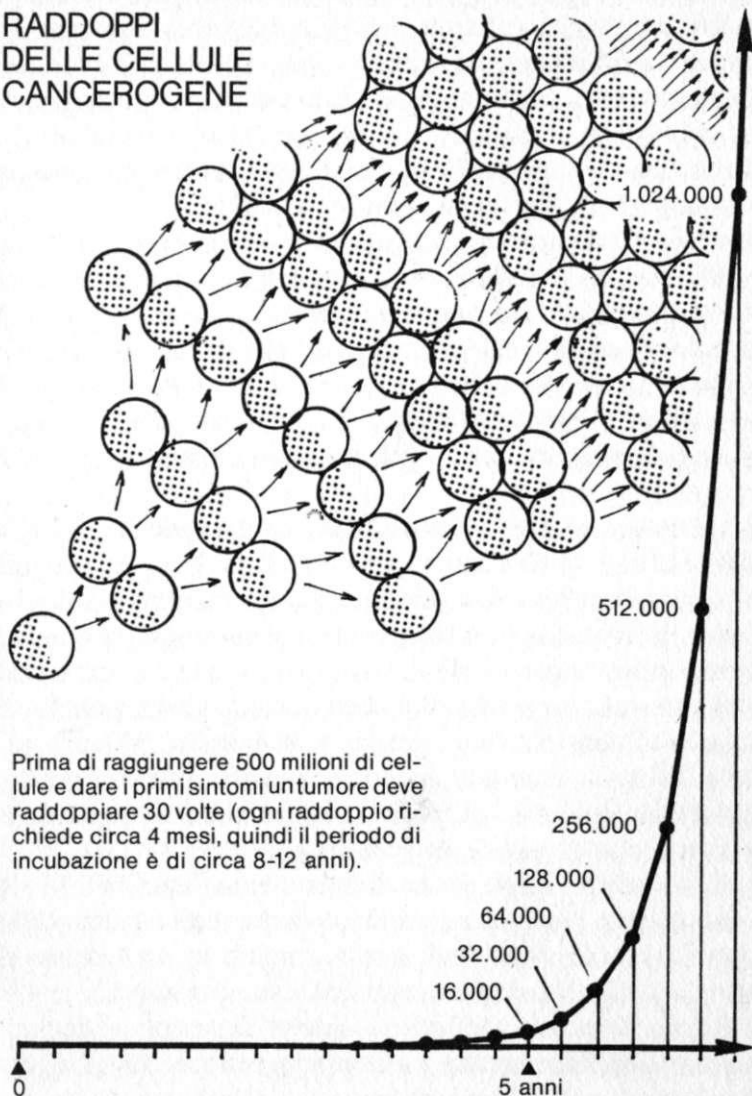
vengono danneggiati, la cellula perde in parte o completamente quei meccanismi che frenavano le sue potenzialità riproduttive. A quel punto la cellula trasformata sembra ritrovare parte dell'ancestrale vitalità, libera ormai dai vincoli della convivenza che subordinano la sua riproduzione agli interessi dell'intero organismo. Tutte le cellule generate per divisione da questa prima cellula « mutante » avranno la sua stessa anomalia: saranno tutte cellule tumorali.

Anche in un tumore le cellule si rinnovano, quelle morte vengono sostituite dalle nuove nate, con l'unica differenza che il numero delle cellule nuove è di poco superiore a quelle che muoiono. Possiamo calcolare che 10.000 cellule tumorali producono cento nuove cellule ogni ora. Però nello stesso periodo di tempo 78 muoiono di vecchiaia. Questo significa che un tessuto tumorale produce ogni ora circa 22 cellule in eccesso per ogni 10.000.

Sembra un numero molto basso, se paragonato ai 10.000 miliardi di cellule che costituiscono il corpo di un essere adulto. Per valutare però esattamente questo incremento dobbiamo fare riferimento a un tumore nel momento in cui comincia a dare i primi sintomi clinici della sua presenza. In termini molto generali, possiamo dire che questo avviene quando raggiunge le dimensioni di un grammo, vale a dire 500 milioni di cellule. Ventidue cellule in più per ogni 10.000, ogni ora, comportano in questo caso un aumento netto di qualcosa come un milione di cellule in eccesso ogni ora.

Quanto tempo impiega un tumore per svilupparsi? In altre parole, quanto tempo è necessario perché quella prima cellula mutante si moltiplichi fino a trasformarsi in un tumore che comincia a dare i primi sintomi della sua presenza?

« Il calcolo non è difficile, » spiega Baserga: « sappiamo che sono necessari trenta raddoppiamenti per raggiungere i 500 milioni di cellule, quindi basterà moltiplicare per trenta il tempo di raddoppiamento del tumore in questione. »

Supponiamo, per meglio chiarire il calcolo, di cominciare a osservare il tumore da quando è composto da un'unica cellula. Dopo un adeguato periodo di tempo le cellule diventano

Un tumore impiega così 5 anni per raggiungere solo 16.000 cellule. Ma nell'ultimo raddoppio, d'un sol balzo aumenta di 250 milioni di cellule.

due, e queste dopo un eguale periodo ne danno quattro, poi otto, sedici, trentadue, e così via. Al loro trentesimo raddoppio saranno i 500 milioni di cui parlava Baserga. Se applichiamo questo calcolo al tumore riportato in precedenza, che produce 22 cellule in eccesso per ogni 10.000 ogni ora, avremo un tempo di raddoppiamento di circa diciannove giorni. Un tumore di questo tipo può raggiungere il peso di un grammo in poco meno di due anni. Altri tumori sono invece particolarmente lenti e possono impiegare periodi anche di trent'anni. « Entrambi questi casi sono poco comuni. Come regola generale, » ha aggiunto Baserga, « per la grande maggioranza dei tumori possiamo calcolare un periodo che oscilla tra gli otto e i dodici anni. »

Il tempo di raddoppiamento non è però un dato sempre costante nel tempo; varie cause, tra le quali figurano anche quei fattori di crescita di cui parlavamo in precedenza, possono intervenire nel corso dello sviluppo di un tessuto tumorale modificandone la velocità di raddoppiamento. Le indicazioni sopra riportate vanno quindi considerate come previsioni indicative che ci aiutano a capire meglio il fenomeno da un punto di vista quantitativo. Alcuni casi tristemente famosi come Hiroshima e Nagasaki lo confermano. In casi come questi si conosce con esattezza il momento in cui la popolazione è stata esposta alle radiazioni atomiche, e si è potuto constatare che a otto-dieci anni di distanza hanno effettivamente cominciato a manifestarsi innumerevoli casi di tumore.

Cosa può causare dei danni al nostro **DNA** tali da provocare la trasformazione di una cellula normale in una tumorale? Le cause che possono danneggiare il **DNA** di una cellula sono molte: sostanze chimiche, cause fisiche come le radiazioni (comprese quelle solari), o ragioni biologiche, per esempio alcuni virus. Ciascuno di questi agenti può provocare quello che i genetisti chiamano gli insulti al materiale genetico, possono cioè produrre delle mutazioni. Quando a essere colpita è la parte del **DNA** che contiene i geni che sovrintendono alla duplicazione cellulare, la mutazione si chiama cancro.

Oggi si è portati a pensare che nel nostro organismo i danni al nostro materiale genetico si verifichino frequentemente, ma per nostra fortuna sembrano esserci all'interno della cellula degli enzimi capaci di individuare il guasto a livello genetico e di ripararlo. Talvolta però questo sistema di difesa fallisce, e a quel punto solo la scienza medica può aiutarci.

La medicina ha oggi un unico modo per cercare di contrastare un tumore: quello di distruggerlo. Ma le cellule cancerose sono molto simili a quelle normali, e diventa quindi molto difficile trovare delle sostanze, o delle tecniche, che siano in grado di annientare solo le prime senza distruggere anche le altre.

Mi faceva osservare il professor Carlo Nervi, uno dei più noti oncologi italiani, che le cellule tumorali perdono man mano tutte le caratteristiche del tessuto da cui provengono. Non sanno più produrre nessuna delle sostanze che le loro compagne normali secernono, anche la loro forma esterna va assomigliando sempre più a quella sferica e indistinta degli esseri unicellulari. In qualche maniera, è come se tutte le energie della cellula venissero concentrate nella riproduzione a scapito delle altre funzioni. « Ci troviamo quindi a dover combattere cellule che non sanno fare più niente, ma che hanno una vitalità straordinaria, » mi diceva Nervi. « La difficoltà è che provengono dallo stesso organismo, e la differenza tra loro e le cellule normali è così sottile che rende quasi impossibile colpire le une senza danneggiare le altre. È un po' come cercare di colpire con un martello, a occhi bendati, il dito indice di una mano senza colpire le altre dita. »

Fino ad ora abbiamo parlato genericamente di tumori, ma dire tumori è un po' come dire malattie di origine batterica: tra queste c'è il raffreddore e c'è la polmonite, e va da sé che non possono essere curate nello stesso modo. Così, ogni tumore a seconda della zona da cui proviene e del tessuto colpito si comporta in modo diverso, e va trattato in modo specifico. Sono almeno un centinaio i tumori che vengono oggi classificati come differenti.

Nella lotta ai tumori sono stati compiuti progressi straordi-

nari, per esempio nella cura di alcuni tumori infantili come la leucemia, dove la percentuale di completa guarigione è molto alta. Nei casi invece dove i risultati sono stati meno clamorosi, l'unione della chirurgia, della chemioterapia e della radioterapia permette oggi alte possibilità di intervento che consentono di controllare la malattia spesso per anni e talvolta per decenni. Il grande numero di persone impegnate nella battaglia contro il cancro offre quasi ogni giorno proposte di nuove terapie adatte alla cura di questo o quel tipo di tumore. Il costante controllo dei risultati fino ad oggi ottenuto permette una continua correzione del tiro, rendendo sempre più efficaci gli strumenti che abbiamo a disposizione.

Dicevamo prima che uno degli scogli più ardui da superare è riuscire ad aumentare le differenze tra le cellule cancerose e quelle normali, in modo da poter distruggere le prime senza uccidere le altre. A questo proposito sono stati messi a punto dei farmaci che sono ora a uno stadio avanzato di sperimentazione. John Yuhas sta sperimentando in un famoso ospedale di Filadelfia un farmaco detto « radioprotettore ». Questa sostanza ha la caratteristica di penetrare nelle cellule normali ma non in quelle cancerose, e ha la proprietà di proteggere le cellule dai danni prodotti dalle radiazioni. In questo modo è possibile aumentare le dosi della radioterapia, aumentando così notevolmente la possibilità di distruggere le cellule tumorali.

Un'altra tecnica che sta dando dei risultati sperimentali molto promettenti è l'ipertermia. Si è visto che riscaldando la parte malata i tessuti tumorali immagazzinano più calore di quelli normali, e questo li rende più vulnerabili alle radiazioni.

In vari centri degli Stati Uniti vengono controllati risultati ottenuti con una tecnica che sembra molto promettente. Si tratta della cosiddetta terapia « fotoradiante ». Si è scoperto che l'ematoporfirina, una sostanza derivata dall'emoglobina, viene assorbita, per cause non ancora del tutto chiarite, solo nei tessuti tumorali. Dopo alcune ore dall'assunzione, la zona malata viene colpita con un raggio laser. Il prodotto, che è

fotosensibile, viene così attivato dal laser che lo rende fluore-
scente, distruggendo il tessuto tumorale.

Queste sono solo alcune delle nuove tecniche di cura che vengono oggi sperimentate nel mondo, e non sono nemmeno, le più ambiziose, ma danno un'idea di quelli che saranno gli strumenti sui quali potremo sicuramente contare nei prossimi anni.

VII • ALLA RICERCA DI ENERGIA

La dipendenza dal petrolio

Quest'insieme di considerazioni sui processi tumorali ci porta quasi spontaneamente a una semplice riflessione: la degradazione dei sistemi, qualunque essi siano, biologici, fisici, energetici (ne parlavamo nel capitolo precedente), è sostanzialmente dovuta a cambiamenti degenerativi della struttura.

Quando si è malati, o si muore, ciò significa che la corretta struttura biologica è stata in qualche modo alterata: cioè la « messa in forma » delle molecole e delle cellule che ne risultano non è più adatta a far fronte alle funzioni richieste dall'ambiente.

Anche per le società industriali il discorso è sostanzialmente simile: esse entrano in crisi quando la loro struttura è in qualche modo alterata da fattori degenerativi, che non le rendono più adatte a far fronte alle funzioni richieste dall'ambiente. Questi fattori possono essere di vario tipo, tuttavia l'attualità degli ultimi anni ci porta a considerarne due, che sembrano avere un ruolo dominante: la scarsità di energia e la scarsità di flessibilità mentale (cioè di « informazione »).

Nei prossimi capitoli ci occuperemo di questa duplice grave malattia che affligge le società industriali, e in particolare quella italiana. L'insufficienza di energia e di « informazione » mentale (che permetterebbe di controbilanciare la scarsità energetica) sta infatti producendo alle nostre strutture gravissimi guasti, che si stanno estendendo come in un processo di metastasi, corrompendo anche i tessuti ancora sani.

Cominciamo con la scarsità energetica. È un problema di cui si è dibattuto molto, riempiendo come al solito montagne di carta e chilometri di tavole rotonde, dibattiti e convegni. Se n'è *parlato* molto: ma si è *fatto* molto poco.

Eppure, se non risolviamo il problema energetico non risolveremo neppure tutti gli altri che sono collegati a catena.

C'è stato per esempio, in questi ultimi anni, un acceso dibattito tra energia nucleare e solare, spesso presentate come energie alternative.

In realtà questa polemica ci ha sovente fatto perdere di vista il mammuth, cioè il perno centrale intorno al quale tutti noi ruoteremo, volenti o no, per i prossimi 20 anni almeno: il petrolio.

Perché c'è poco da fare: è col petrolio che dovremo fare i conti. Al di là dei nostri desideri.

Recentemente l'ENEL ha inaugurato la prima centrale solare operativa al mondo, quella di Adrano in Sicilia, costruita in collaborazione con i migliori specialisti francesi e tedeschi. Ed è stata, in sostanza, una dimostrazione tecnica di come, malgrado gli ultimi ritrovati, si è ancora lontani da una tecnologia solare competitiva. Infatti l'energia prodotta dalla centrale di Adrano attualmente costa circa cinquanta volte di più di quella tradizionale, e anche riducendo i costi con costruzioni in serie, i tecnici ritengono che l'energia costerebbe, comunque, 3-4 volte tanto quella che si produce con altre fonti...

Cosa vuol dire questo? Vuol dire che naturalmente bisogna continuare a fare questi studi, e anche altri studi, con le cellule fotovoltaiche (e ad Adrano si sta preparando una nuova centrale di questo tipo: ma si prevede che il discorso sostanzialmente rimarrà lo stesso); bisogna fare i pannelli solari per l'acqua calda, sviluppare tutte le altre tecnologie disponibili, dal biogas alla immondizia, dagli scisti bituminosi all'alcool, ai venti. Bisogna fare tutto, insomma, ma tenendo ben fisso in mente un problema centrale, che è la nostra realtà di oggi: il vero mammuth dell'energia è (e rimarrà per molto tempo, purtroppo) il *petrolio.*

La nostra dipendenza (dicono tutte le previsioni) diminuirà

solo molto lentamente. Ecco allora che, a questo punto, sembra delinearsi quella che diventerà la vera fonte alternativa, per chi, come noi, non ha pozzi petroliferi: i *quattrini.*

La vera fonte energetica del futuro dovranno essere i soldi: i soldi per comperare petrolio. Infatti, in periodi di scarsità (come è sempre avvenuto in qualsiasi crisi o restrizione, o carestia di ogni tipo) chi rimane senza non è il ricco, ma il povero.

Chi ha i quattrini potrà sempre procurarsi energia, offrendo in cambio qualcos'altro. Questo sembra essere ormai uno dei problemi di base per quanto riguarda il nostro futuro energetico. Vediamo la situazione.

Nucleare o solare?

Attualmente in Italia l'energia nucleare ci fornisce solo lo 0,8% dell'energia totale di cui abbiamo bisogno.

Nel 1985 arriveremo all'1,2%, e nel 1990 (se si faranno le centrali previste) si arriverà al 5%.

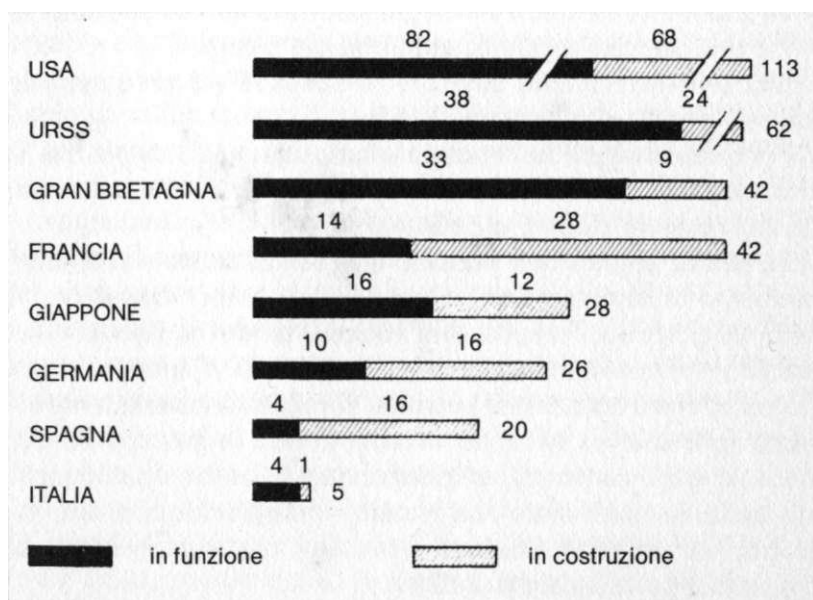
Per quanto riguarda l'energia solare siamo ancora più bassi. Praticamente il suo contributo, nel 1990, sarà irrilevante, come del resto in tutto il mondo.

Se invece si guarda il petrolio ci si rende conto che le cifre cambiano completamente. Oggi in Italia dipendiamo per il 68% dal petrolio. Nei prossimi 10 anni, in teoria, i nostri consumi dovrebbero aumentare ancora del 40%. E quindi dovremo comperare ancora più petrolio. Il piano nazionale naturalmente prevede lo sviluppo di altre fonti, in particolare del nucleare e del carbone, per ridurre questa nostra dipendenza. Ma anche se riuscissimo con grande sforzo a realizzare in tempo tutti gli impianti alternativi previsti, non riusciremmo ad arginare il petrolio sotto il 52%.

Il che vuol dire che, in termini assoluti, ci sarebbe comunque un aumento di consumo, rispetto a oggi. E quindi una maggiore dipendenza. Malgrado si sia molto dibattuto, come dicevamo, in questi ultimi anni, su energia solare e nucleare,

in realtà, rinviando le scelte, abbiamo di fatto scelto il petrolio. Le nostre centrali nucleari, infatti, nel 1990 saranno solo 7 (ammesso che si facciano), per cui si consoliderà la posizione di coda occupata dall'Italia alla fine del 1982 quale risulta dal grafico riportato qui sotto.

Ma il petrolio, su cui dovrà ormai basarsi la nostra economia, sarà davvero sempre disponibile? E soprattutto, quanto costerà?

Se si guarda il prezzo del petrolio dal dopoguerra a oggi, ci si rende conto, con sorpresa, che un barile nel 1945 costava 1 dollaro; nel 1972 soltanto 1 dollaro e ottanta. In 27 anni, cioè, il prezzo è salito di molto poco. Nel giro di pochi anni, invece, è balzato a oltre 30 dollari. Basterebbero queste semplici cifre a spiegare molte cose. Quanto costerà nel 1990?

Centrali nucleari nel 1982. Delle 4 centrali nucleari esistenti in Italia, 2 sono inattive (quella del Garigliano, anzi, sarà smantellata) : una sola è in costruzione (Montalto di Castro), benché il piano energetico nazionale ne preveda, in teoria, altre 9. Per quanto ^guarda l'URSS, alle 62 centrali in funzione o in costruzione se ne aggiungeranno 32 già ordinate.

Sappiamo tutti che quando una merce diventa rara, il prezzo automaticamente sale. Ebbene, i 30 principali studi che sono stati fatti sul petrolio indicano che negli anni '90, per la prima volta nella storia, ci sarà un incrocio fra la domanda e l'offerta. Cioè ci sarà più gente a chiedere petrolio di quanto se ne produrrà.

Tutti ne vorranno, e questa situazione potrà far salire sempre più il prezzo. A quanto? Difficile dirlo. Anche perché esistono fluttuazioni dovute a situazioni congiunturali del mercato. Se c'è crisi nei paesi industriali, diminuisce la produzione di beni e quindi diminuisce la richiesta di energia (e diminuisce il prezzo del petrolio): ma se non si verificheranno gravi crisi (che sarebbero quanto di peggio ci si possa augurare) sembra inevitabile in futuro un aumento del prezzo del barile, almeno fino a quando le fonti alternative non creeranno un vero calmiere nel mercato.

Non è comunque difficile prevedere che soltanto i paesi che avranno i soldi potranno procurarselo in abbondanza. Già oggi si sta verificando una situazione del genere; i paesi poveri hanno difficoltà a comprare il petrolio, malgrado sia ancora largamente disponibile.

Infatti anche le bistecche sono largamente disponibili sul mercato, o i profumi; ma molta gente non ha soldi per comperarli. Quindi, in mancanza di altre fonti energetiche, sembra che la vera fonte alternativa al petrolio saranno proprio i quattrini. I quattrini infatti possono trasformarsi in petrolio.

Noi avremo abbastanza soldi per riuscire a compiere in continuazione questo prodigio? E dove li troveremo tutti i miliardi necessari?

Un pozzo di quattrini

Evidentemente li troveremo solo se riusciremo a vendere bene i nostri prodotti sui mercati internazionali. Perché nessuno ci regalerà niente. E per avere petrolio bisognerà pagare con valuta pregiata, per esempio dollari.

Cosa potremo vendere all'estero per procurarci questi dollari? Non certamente cibo, perché non ne produciamo abbastanza neppure per noi, anzi dobbiamo importarne per migliaia di miliardi all'anno.

Non potremo neppure vendere delle materie prime, perché non ne abbiamo, le importiamo quasi tutte.

Quello che potremo offrire saranno i nostri prodotti industriali.

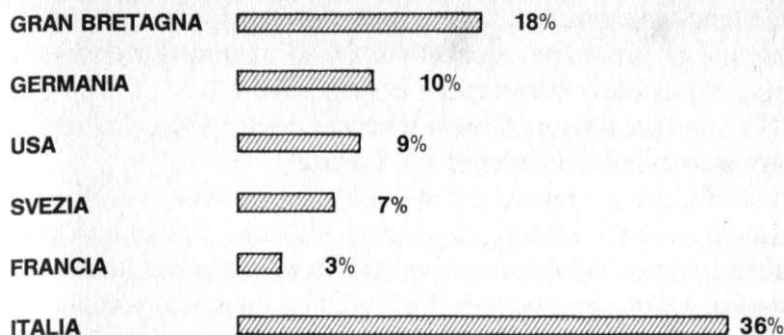
Il fatto è che sui mercati internazionali c'è competizione sia tecnologica (perché per vendere un televisore, un aeroplano o anche solo una vernice, bisogna essere più bravi dei concorrenti) e c'è competizione sui prezzi. Infatti certe produzioni semplici, per esempio nel campo dei tessili, della petrolchimica, della meccanica o dell'abbigliamento, cominciano a essere realizzate dai paesi del Terzo Mondo a salari più bassi.

Quindi diventerà sempre più difficile, in prospettiva, fare fronte alla concorrenza se non mettendo nei prodotti più tecnologia, o più produttività, o più idee, o più efficienza.

Ma c'è un altro problema. Vari paesi concorrenti potranno probabilmente beneficiare, per le loro industrie, di energia elettrica meno cara. Infatti, malgrado sia difficile fare calcoli precisi, sembra prevedibile che in futuro l'energia elettrica prodotta col petrolio e anche col gas (cioè con gli idrocarburi) diventerà sempre più costosa; e sarà avvantaggiato chi riuscirà a produrla diversamente, perché ciò gli consentirà di aumentare la sua competitività.

Ecco appunto come i principali paesi industriali contano di ridurre la propria dipendenza dagli idrocarburi, per quanto riguarda un settore così strategico come è quello dell'energia elettrica.

In Gran Bretagna nel 1990 solo il 18% dell'energia elettrica si prevede dipenderà dagli idrocarburi (e non dimentichiamo che la Gran Bretagna possiede il petrolio del Mare del Nord). In Germania il 10%, negli Stati Uniti il 9%, in Svezia il 7%, in Francia forse il 3%. In Italia invece il 43% (ammesso che si facciano tutte le centrali nucleari previste e che si riescano a fare tutti gli impianti a carbone previsti).

GRAN BRETAGNA 18%
GERMANIA 10%
USA 9%
SVEZIA 7%
FRANCIA 3%
ITALIA 36%

Dipendenza dal petrolio (1990). Questo schema mostra la dipendenza dell'Italia dagli idrocarburi, prevista in futuro: se il costo degli idrocarburi, come ritengono molti esperti, rimarrà più alto rispetto ad altre fonti, ciò si tradurrà in un costo energetico maggiore per l'industria italiana. E quindi in minore competitività.

Ci stiamo dunque preparando a diventare più bravi tecnologicamente, o più efficienti, o più competitivi nei prezzi, o magari più ricchi per pagare il costo crescente dell'energia? Un'energia che sarà essenziale per alimentare il nostro sviluppo economico e industriale? E anche per mantenere i nostri salari?

Nessun Babbo Natale

Sfortunatamente siamo costretti a rispondere in qualche modo a queste domande. Naturalmente c'è tutto il discorso del *risparmio* energetico, che è molto importante e che va fatto continuamente, perché c'è modo di recuperare qualcosa.

Purtroppo però col risparmio non si *produce* energia.

Nella nostra situazione, non avendo come altri paesi pozzi petroliferi, o grandi impianti a carbone o nucleari, né avendo altre risorse, il nostro problema rimarrà ancora per parecchio tempo quello di comperare petrolio.

Senza illuderci troppo che i prezzi diminuiranno in futuro

(anche se potranno esservi oscillazioni). Del resto abbiamo visto che, malgrado la diminuzione recente del prezzo del greggio, di fatto (per noi) il prezzo è ancora aumentato, a causa del cambio sfavorevole col dollaro.

L'economia internazionale ha certe regole che nessun paese singolo può evidentemente modificare.

Per riuscire a comperare, il nostro paese deve avere insomma qualcosa da vendere in cambio. Altrimenti nessuno ci regalerà niente. Non esiste alcun Babbo Natale del petrolio.

Sui mercati internazionali è come al mercato rionale: per comperare una bottiglia d'olio, o un barile di petrolio, bisogna avere quattrini. Si possono fare dei debiti per un po', ma poi i commercianti non fanno più credito.

Questo è vero, naturalmente, qualunque sia la merce che si compera. Non solo petrolio, ma anche carbone.

E questo ci porta appunto al discorso sul carbone. Infatti una delle cose che si sanno da tempo è che, mentre il petrolio tende a esaurirsi abbastanza rapidamente, di carbone ce n'è ancora parecchio nel mondo. Il fatto è che noi, nel nostro sottosuolo, non abbiamo neppure carbone. E dobbiamo comperarlo all'estero. Per esempio in Polonia e in Sudafrica, che sembrano essere in futuro i nostri principali fornitori.

È vero che abbiamo il carbone della Sardegna, il Sulcis. Ma è poco, e di non buona qualità. L'ENEL pensa che nell'ipotesi più ottimistica se ne potranno estrarre ogni anno 4 milioni di tonnellate (equivalenti a 2 milioni di tonnellate di carbone di qualità americana) e sarà probabilmente usato solo in Sardegna perché non ce n'è abbastanza per predisporre trasporti verso il continente. Anche qui, dunque, dovremo comperare.

Tra l'altro, è curioso osservare che, mentre il dibattito di questi anni è stato tra solare e nucleare, di fatto ci siamo incamminati per la strada del carbone senza neanche accorgercene. I progetti dell'ENEL prevedono infatti, come dicevamo, di moltiplicare le nostre centrali elettriche a carbone entro gli anni '90.

E una scelta del resto che corrisponde a una tendenza mondiale.

Ma cosa significa questo ritorno al carbone? Torneranno i tempi della miniera e dei fumi neri? Del grisù e della silicosi?

Il ritorno del carbone

(di Lorenzo Pinna)

Forse molti lettori si ricorderanno quelle poche domeniche del 1973 nelle quali fu proibito, a causa della crisi petrolifera, di viaggiare in automobile. Le strade e le città apparvero irrealmente deserte e silenziose mentre molti ex-automobilisti (ex per poco) si scoprirono insospettate passioni per la bicicletta e le passeggiate. Fu la prima misura spettacolare quanto inefficace e quasi commovente per fronteggiare una crisi che si può definire planetaria e che anzi per i prossimi decenni ci prepara le sorprese più sgradevoli. Ebbene quell'anno, il 1973, segnò la fine di un periodo storico che durava dalla fine della seconda guerra mondiale: quello di uno sviluppo industriale e tecnologico basato su un'energia abbondante e a basso costo: il petrolio.

Nuove fonti sono state studiate per evitare vuoti energetici: per esempio i raggi solari che piovono sulla Terra, o l'energia prodotta dalle biomasse, o quella nucleare. Tuttavia fra tante nuove proposte è saltata fuori una vecchia conoscenza: il carbone. Anzi, secondo uno studio condotto a livello mondiale e detto WOCOL, il carbone potrebbe essere insieme al nucleare una specie di ponte verso il futuro. Cioè un'energia che rimpiazzi via via i vuoti lasciati dal petrolio e ci faccia giungere senza disastri economici fino a quell'epoca intorno al 2030-2050 in cui finalmente il problema energetico, grazie alla fusione nucleare, dovrebbe essere definitivamente risolto.

Per costruire questo ponte di carbone verso il futuro bisognerebbe tuttavia, sempre secondo il WOCOL, triplicare entro il 2000 l'attuale produzione di questo combustibile fossile. Ma prima di vedere cosa questo significhi facciamo un salto indietro nel tempo.

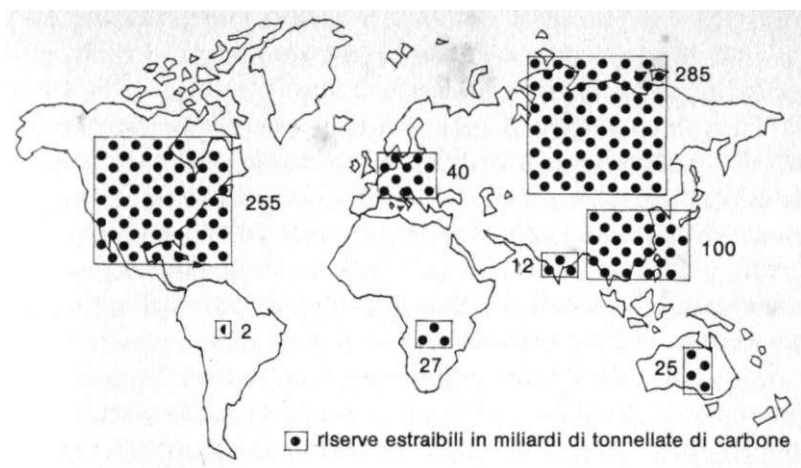
Milioni e milioni di anni fa l'aspetto del nostro pianeta era

molto diverso da quello che conosciamo. Sulla Terra si stendevano mari poco profondi e vastissimi acquitrini. Il clima uniforme di quelle epoche lontane favorì la crescita tumultuosa della vegetazione. Generazioni e generazioni di piante si abbatterono al suolo stratificandosi le une sulle altre e impedendo la circolazione dell'ossigeno necessario alla decomposizione. Cataclismi geologici di epoche successive spinsero nella profondità della Terra questi resti vegetali. Dopo duecento milioni di anni quelle foreste sepolte si erano trasformate in un minerale: il carbon fossile.

Il carbone è un combustibile noto da molto tempo, ma soltanto nell'Inghilterra del 1600 cominciò un impiego sistematico. Paradossalmente fu proprio una crisi energetica che fece scoprire quattro secoli fa le grandi potenzialità del carbone. Infatti, nell'Inghilterra di quel periodo, il legno impiegato per la siderurgia stava diventando sempre più raro e le foreste non crescevano abbastanza rapidamente per tener dietro alle richieste sempre più grandi della nascente industria. Il carbone prese il posto del legno, e fino ai primi decenni del ventesimo secolo rimase la principale fonte energetica dello sviluppo industriale. Anche se negli ultimi decenni il declino di questa fonte è stato rapido, la crisi petrolifera sta ora ribaltando questa tendenza. L'ENEL ha elaborato alcuni calcoli per vedere quanto costa la produzione di un kilowattora (l'energia cioè che serve per far funzionare uno scaldabagno medio per un'ora) impiegando varie fonti di energia:

1 kWh dal petrolio 58 lire;
1 kWh dal carbone 43 lire;
1 kWh dal nucleare 29 lire.

Su questi calcoli l'accordo non è generale, tuttavia sembrano dimostrare che già oggi sia più conveniente usare il carbone e il nucleare.

I vantaggi del carbone non si riducono però a un prezzo più basso. La grande vastità delle riserve e la loro collocazione in aree geopolitiche diverse da quelle del petrolio sono altri fattori a favore di un ritorno del carbone. Secondo il WOCOL le riserve estraibili di carbone sono 5 volte superiori a quelle del

La mappa del carbone. I maggiori giacimenti di carbone si trovano in zone geografiche diverse da quelle del petrolio.

petrolio e i maggiori produttori non si trovano in Medio Oriente. Infatti una mappa dei più grandi giacimenti vede: gli L'URSS, USA, la Cina, l'Europa, il Sudafrica.

Se dunque il carbone presenta alcuni vantaggi, quali sono gli inconvenienti? Innanzitutto nella fase estrattiva il carbone è la fonte energetica che costa di più in termini umani: malattie professionali e incidenti. Nel caso delle miniere a cielo aperto, dove vengono sbancate aree di chilometri quadrati, i danni all'ambiente sono notevoli e non sempre facilmente riparabili. Ebbene, per raggiungere la produzione che il WOCOL assegna agli USA per il 2000, dovranno essere aperte entro quell'anno in quel paese 385 miniere sotterranee e 307 miniere a cielo aperto.

Ma il punto critico del carbone è il trasporto. Per rifornire una centrale da 1200 megawatt, cioè in grado di fornire energia a una città di tre milioni di abitanti, occorrono seimila tonnellate di carbone al giorno. Cioè treni capaci di non disperdere polveri, e porti capaci di accogliere le gigantesche carboniere. E scaricare una carboniera non è così semplice come scaricare una petroliera. In breve, i costi di trasporto incidono per più del 50% sul suo

prezzo di mercato. E anche al momento di bruciarlo nella centrale sorgono altri problemi: il pulviscolo e grandi quantità di anidride carbonica e solforosa.

Naturalmente questi inconvenienti possono essere limitati con adeguati impianti di filtraggio. In tal caso però la centrale da 1200 megawatt produrrà 300.000 tonnellate di ceneri ogni anno e bisognerà in qualche modo riciclarle. Tuttavia bisogna sottolineare che l'impiego del carbone in grandi centrali sarà meno inquinante dell'uso che se ne faceva 50 o 100 anni fa per alimentare riscaldamenti domestici e piccole imprese.

Infatti, grazie agli attuali progressi tecnologici, è molto più semplice controllare una grande fonte di inquinamento che una miriade di piccole fonti sparse su un grande territorio. Questo fatto sembra confermato dalla presenza nell'Europa stessa di grandi consumatori di carbone. La Gran Bretagna, per esempio, negli anni '70 ha prodotto circa il 60% del suo fabbisogno di elettricità dal carbone consumandone intorno agli 80 milioni di tonnellate all'anno.

Ma qual è la nostra situazione? Nel 1980 abbiamo consumato 5 milioni di tonnellate di carbone per produrre energia elettrica. L'attuale piano energetico nazionale (**PEN**), approvato nel dicembre 1981, prevede di moltiplicare per 7 entro il 1990 il quantitativo utilizzato nelle centrali termo-elettriche nel 1980. Di passare da 5 a 35 milioni di tonnellate di carbone. Cioè di produrre con questa fonte il 33% di elettricità. Ma uno degli inconvenienti del carbone, lo abbiamo visto, è appunto il trasporto. È pronto il nostro paese a ricevere quantitativi così grandi di carbone che, come il petrolio, sarà quasi esclusivamente d'importazione? Se si escludono infatti le miniere del Sulcis in Sardegna, la cui prevedibile produzione sarà di circa 4 milioni di tonnellate annue di carbone di qualità scadente, l'Italia non ha altri giacimenti di rilievo.

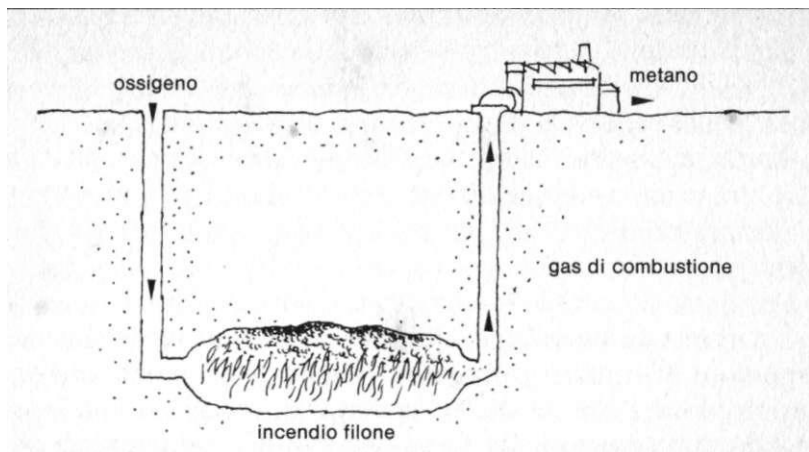
I responsabili dell'**ENEL** ci hanno detto che attualmente i 35 milioni di tonnellate previsti per il 1990 non potrebbero venire scaricati e smistati in maniera adeguata. Per ridurre i costi di trasporto occorre infatti impiegare carboniere di grande stazza (100-150.000 tonnellate) che richiedono attrezzature por-

tuali dotate di grandi fondali. L'unico porto in Italia in grado di ricevere simili giganti è quello di Taranto con il suo fondale di 22 metri, anche se nel porto di Trieste sono in corso lavori di ampliamento.

Tuttavia, se assieme alla costruzione delle nuove centrali a carbone si provvedere alla realizzazione delle opportune aree e attrezzature per lo scarico del carbone, i piani per gli anni '90 saranno rispettati.

Per quanto riguarda le misure anti-inquinamento la centrale a carbone di Vado Ligure rappresenta un esempio di come si possono affrontare problemi del genere. Le ingombranti ceneri prodotte dalla combustione vengono vendute a una locale ditta di costruzioni che le utilizza per la produzione di cementi e calcestruzzi. In questo modo le temute montagne di residi indistruttibili non si formeranno. Per il controllo dei fumi e dell'inquinamento dell'aria, sempre nella centrale di Vado Ligure è in funzione un interessante sistema di controllo consistente in una serie di postazioni di rilevamento e di un doppio terminale per la raccolta e l'elaborazione dei dati. Questa tecnica, collaudata a livello europeo, permette anche alle amministrazioni locali di essere al corrente della situazione. Infatti uno dei due terminali è situato nella centrale stessa, l'altro negli uffici del Comune. Se l'inquinamento dovesse superare i limiti consentiti, il Comune sarebbe in grado di accorgersene e di intervenire, se i responsabili dell'**ENEL** non vi avessero ancora provveduto.

L'interesse delle grandi multinazionali del petrolio verso il carbone è indicativo di futuri impieghi anche al di là della produzione di energia elettrica. Alcune ricerche tentano di liquefare e gasificare il carbone a prezzi competitivi. Tuttavia in questo campo si è ancora in fase sperimentale. Per esempio a Huston, **USA**, la Exxon ha costruito un impianto pilota, denominato *Donor Solvent,* dal processo chimico impiegato, che cerca di ottenere combustibile liquido dal carbone. Ma prima degli anni '90 non si prevede un impiego su scala industriale di questi metodi.

Altri progetti sono ancora più audaci e puntano a trasfor-

Miniera senza minatori. L'Incendio del filone di carbone viene alimentato dell'ossigeno. I gas di combustione raccolti e lavorati in un vicino impianto vengono trasformati in metano. Il costo di questa operazione è attualmente antieconomico.

mare il carbone in gas combustibile direttamente nel sottosuolo. Attraverso varie perforazioni si raggiunge un giacimento, cui viene dato fuoco. L'incendio del filone sotterraneo, alimentato dall'ossigeno pompato in una delle perforazioni, produrrebbe gas di combustione che raccolti e opportunamente lavorati fornirebbero metano. I tentativi in corso in vari paesi hanno però dimostrato che il prezzo di un metro cubo di gas così prodotto è decine e decine di volte più alto di quello di un metro cubo di gas naturale. Anche di questi metodi se ne parlerà negli anni '90.

Numerose sono quindi le vie tentate per trasformare il carbone in un'efficace alternativa al petrolio. Ma per l'Italia un « ritorno del carbone » non sembra sufficiente a rendere meno preoccupante il nostro futuro energetico. Infatti, se analizziamo con quali fonti alimenteremo la grande macchina della nostra economia nel 2000, vediamo che copriremo:

con il nucleare	il 10%
con l'idrogeosolare	il 7%
con il gas naturale	il 18%
con il carbone	il 22%

Sommando le varie percentuali otterremo il 57%. L'altro 43% di energia, è fin troppo facile immaginarlo, ce lo fornirà il petrolio. Ma sarà disponibile? E quanto costerà? Ma soprattutto potremo permetterci di acquistarne le quantità che ci saranno necessarie?

Verso la fusione

Il discorso, dunque, ricade sempre su se stesso. In ogni caso il carbone, per poter portare il suo contributo e poter essere inserito utilmente nel nostro repertorio energetico, ha bisogno di infrastrutture e di nuove tecnologie. Come sempre occorre prevedere in tempo le cose, e non cominciare a dibatterne all'ultimo momento, come è già successo per altre fonti energetiche.

Queste decisioni richiedono infatti tempi lunghi per la realizzazione, e i tecnici hanno bisogno subito di chiarezza di scelte.

Ma per quanto tempo rimarremo ancora in questo tunnel della scarsità e della dipendenza dal petrolio? A che punto sono quelle tanto desiderate tecnologie che ci libereranno da questo assillo delle fonti energetiche?

In altre occasioni (e in altri libri) ho avuto modo di parlare delle immense piattaforme solari da mettere nello spazio, in orbita a 36.000 chilometri d'altezza. E una soluzione affascinante, ma, ammesso che queste piattaforme siano davvero realizzabili (senza controindicazioni ecologiche), potranno cominciare a essere costruite solo dopo il 2000. Dunque, roba non per noi ma per la prossima generazione.

L'altra soluzione, di cui spesso si parla, è la *fusione nucleare,* cioè il « Sole in bottiglia ». Nel 1955 si diceva: sarà possibile tra 10 anni. Oggi si dice: tra 30 o 40 anni.

È un bersaglio mobile, insomma, che fugge davanti a noi mentre lo stiamo inseguendo.

A che punto sono gli studi, oggi, su questa tanto sospirata fusione?

Il fuoco degli dei

(di Franco Foresta Martin)

Gli astronomi ci insegnano che il Sole brucia ininterrottamente da circa cinque miliardi di anni e continuerà a restare acceso per molti miliardi di anni ancora. Questo continuo flusso di radiazioni che ci viene dalla nostra stella è all'origine non solo della vita, ma di quasi tutto il patrimonio energetico esistente sulla Terra.

Fissata dalle piante attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana, trasferita agli animali e all'uomo sotto forma di cibo e calore vitale, convertita nel corso delle ere geologiche in combustibili fossili, trasformata in vento, piogge e cascate d'acqua, è sempre l'energia del Sole il motore di tutto.

Oggi questa enorme energia che ci mette a disposizione il Sole non basta più. Il fabbisogno mondiale di elettricità, di calore, di combustibili per alimentare industrie e trasporti è cresciuto con un ritmo tale da far prevedere, per i prossimi decenni, una richiesta più alta rispetto alle nostre capacità produttive.

L'ideale sarebbe poter emulare il Sole, disporre sulla Terra di tanti piccoli Soli da accendere a comando. E un sogno antico quanto l'uomo: gli antichi greci lo avevano trasformato in leggenda, nel mito di Prometeo che rubò il fuoco degli dei per portarlo agli uomini e dargli la possibilità di sviluppare la prima civiltà evoluta.

Gli scienziati oggi tentano di ripetere il mito di Prometeo, di costruire il Sole in laboratorio per ottenere quantitativi di energia praticamente illimitata.

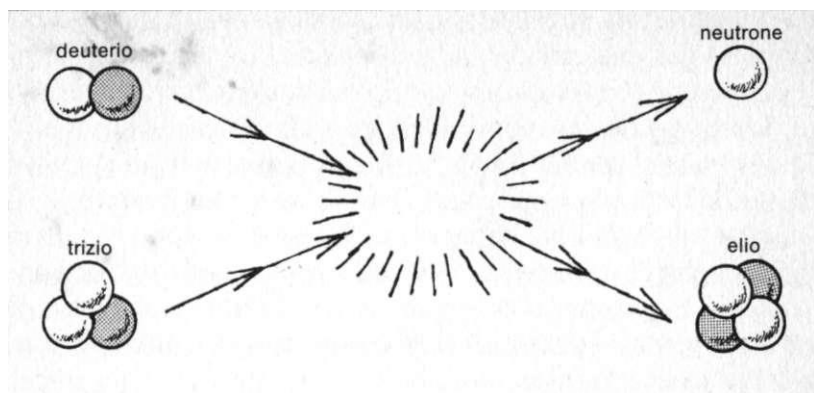
Ciò che si sta tentando di realizzare, più esattamente, è la *fusione nucleare,* cioè la riproduzione di quel processo fondamentale che tiene acceso il Sole e le altre stelle. Alle alte temperature e pressioni che si sviluppano in questi immensi astri i nuclei degli elementi leggeri come l'idrogeno si uniscono fra loro liberando grandi quantità di energia. Si tratta di un processo che, sulle stelle, può andare avanti per miliardi e miliardi di anni prima di esaurirsi.

La *fusione,* sia detto per inciso, non è da confondersi con la *fissione* nucleare che consiste nello spezzare nuclei di atomi pesanti come l'uranio, sempre allo scopo di ricavarne energia. La differenza fra i due procedimenti è che il fuoco della fusione nucleare risulterebbe più efficiente e più pulito rispetto a quello della fissione, e il combustibile con cui alimentarlo di più facile reperibilità. Tuttavia, mentre già esistono i reattori nucleari che ci forniscono l'energia ricavata dalla fissione nucleare — e sono tanto avversati dai movimenti ecologistici di tutto il mondo — ancora non si è riusciti a costruire una centrale atomica a fusione nucleare.

Il processo di fusione nucleare, per la verità, è già stato riprodotto da circa trent'anni sulla Terra: su di esso si basano le tremende bombe all'idrogeno o termonucleari che negli anni '60 venivano fatte esplodere nell'atmosfera da Stati Uniti e Unione Sovietica con una successione inquietante. Le due maggiori potenze sono arrivate a un accordo che vieta queste esplosioni nell'aria; altri paesi come la Cina e la Francia non vi hanno aderito e continuano, di tanto in tanto, a sperimentare nuovi ordigni a fusione.

Nel caso delle esplosioni termonucleari, tuttavia, il processo di fusione avviene in maniera incontrollata; per il suo sfruttamento a fini energetici, invece, è necessario pilotare la reazione in modo che essa fornisca le quantità desiderate di energia senza esplosioni né altri effetti nocivi.

Per ottenere ciò è necessario portare a temperature altissime una miscela di gas, detta plasma, formata da *deuterio* e *trizio,* due parenti pesanti (o isotopi) dell'idrogeno. L'idrogeno, che è l'atomo più semplice, è formato da un protone (particella positiva) e da un elettrone (particella negativa) che gli gira attorno. Il deuterio è formato da un nucleo con un protone e un neutrone (particella neutra) e un elettrone attorno. Il trizio da un nucleo con un protone e due neutroni e il solito elettrone attorno.

Portati a temperature dell'ordine di 50-100 milioni di gradi i nuclei del deuterio e del trizio, dopo essersi spogliati dei loro elettroni, si incollano fra loro formando un nucleo di elio (due

Fusione nucleare. Nel processo di fusione due isotopi dell'idrogeno, il trizio e il deuterio, si scontrano formando un nucleo di elio e un neutrone e sprigionando energia.

protoni e due neutroni) e un neutrone libero. Quest'ultima particella risulta particolarmente carica di energia. Rallentata con opportuni ..metodi cede, sotto forma di calore, l'energia cinetica che possiede. Il calore viene adoperato per riscaldare acqua; e l'acqua, trasformata in vapore ad altissima temperatura, è in grado di far girare una turbina che aziona un generatore di corrente elettrica.

In linea di principio, dunque, gli scienziati sanno benissimo cosa si deve fare per imprigionare e trasformare l'enorme energia della fusione nucleare. In pratica, però, hanno incontrato e continuano a incontrare non poche difficoltà per realizzare il procedimento.

Quali materiali, innanzitutto, sono in grado di restare a contatto con un Sole in miniatura senza fondere? Certo nessuno di quelli finora conosciuti. A questo si è ovviato costruendo un recipiente magnetico che tiene il plasma incandescente sospeso a mezz'aria senza farlo venire a contatto con la materia.

Un altro problema, non ancora superato, consiste nel raggiungere, contemporaneamente alle alte temperature, una densità del plasma molto elevata e un perfetto isolamento termico (o *confinamento,* come dicono i tecnici della fusione).

Tutte queste condizioni sono necessarie per innescare e mantenere la reazione di fusione.

In Italia è in funzione da sei anni una macchina a confinamento magnetico per lo studio della fusione nucleare controllata. Si chiama *Tokamak,* dalle iniziali di macchina magnetica toroidale. (Toroidale vuol dire a forma di ciambella). Questo apparato ha ottenuto risultati molto importanti verso il traguardo della fusione stabilendo il primato mondiale di confinamento del plasma.

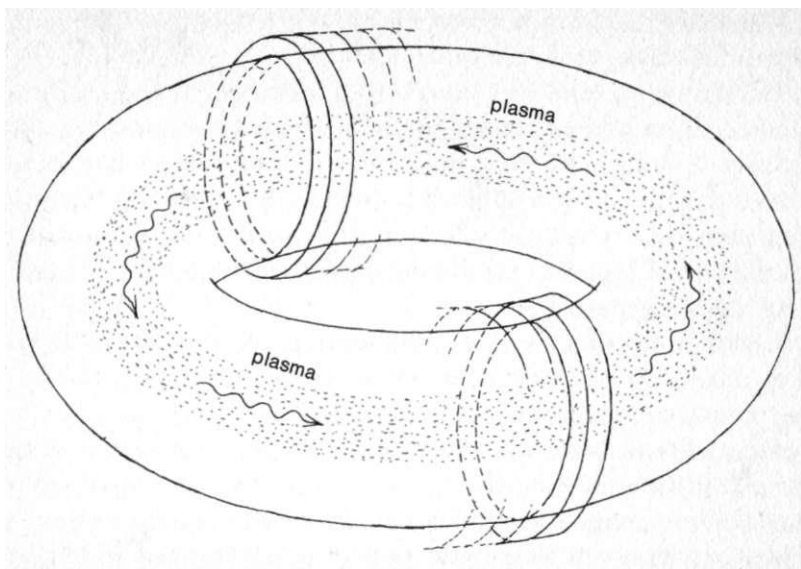
Come funziona? Ne parliamo con il professor Romano Toschi, direttore dei laboratori ENEA (l'ex CNEN) di Frascati.

« Prima di spiegare le caratteristiche vorrei riassumere brevemente quali sono gli obiettivi di una macchina di questo tipo. Il primo è di riscaldare un plasma che viene immesso in una camera magnetica toroidale; il secondo di mantenere il plasma isolato termicamente per un certo tempo. Ebbene a Frascati abbiamo realizzato una macchina che si differenzia da tutte quelle europee per un elevatissimo campo magnetico. Questo, dal punto di vista scientifico, significa che abbiamo il vantaggio di avere un ottimo isolamento termico per il nostro plasma. »

— In tutto il mondo c'è una gara in atto per raggiungere al più presto l'obiettivo della fusione nucleare controllata. Qual è la posizione dell'Italia?

« E molto buona. In questi casi, per fare dei confronti, ci si suole riferire a un diagramma in cui le caratteristiche delle varie macchine sono indicate in funzione di due parametri fondamentali: la massima temperatura raggiunta e il grado di confinamento termico del plasma. L'obiettivo è quello di raggiungere una zona in alto a destra del diagramma che noi chiamiamo zona di fusione. Ebbene, Frascati si colloca abbastanza vicino a questa zona. »

— Con l'attuale Tokamak di Frascati fin dove potrete arrivare rispetto alla zona di fusione?

« Ci potremo avvicinare ancora, ma non raggiungerla. Per compiere il secondo passo stiamo progettando una seconda macchina, detta **FTU** dalle iniziali di *Frascati Tokamak Upgra-*

Macchina toroidale (Tokamak). Il plasma caldissimo viene tenuto sospeso a mezz'aria, in una ciambella cava, da fortissimi campi magnetici.

de, che dovrebbe essere realizzata nel 1985 e che dovrebbe raggiungere il traguardo di produrre almeno tanta energia quanta ne viene consumata per riscaldare il plasma. »

— Fin qui il bilancio sarebbe alla pari. E perché diventi decisamente attivo cosa ci vorrà?

« Quelle di cui parliamo sono macchine sperimentali per dimostrare che la fusione nucleare controllata è tecnicamente possibile. Per passare alla produzione di energia vera e propria sarà necessaria una grande macchina che non potrà essere pronta prima del 2000. »

Dalla prima dimostrazione sperimentale della fusione di cui ci ha parlato il professor Toschi al suo impiego commerciale non è detto però che il passo sarà breve e agevole. Le previsioni più ottimistiche parlano del 2020. L'entrata in funzione dei reattori a fusione nucleare potrebbe essere poi frenata dagli alti costi di esercizio soprattutto se, nel frattempo, si saranno sviluppate energie alternative a prezzi competitivi.

Malgrado questi dubbi le nazioni industrializzate stanno investendo parecchio nei programmi di ricerca sulla fusione. Ciò si spiega perché i vantaggi di un simile procedimento di generazione dell'energia appaiono oggi molto allettanti. Vediamoli.

Innanzitutto il fuoco della fusione sarebbe più redditizio di qualsiasi altro. Si è calcolato che per fornire energia elettrica per un anno al mondo intero sono necessari all'incirca tre miliardi di tonnellate di carbone o, se si preferisce, un miliardo e 800 milioni di tonnellate di petrolio; ovvero 144.000 tonnellate di uranio in reattori a fissione. Con un reattore a fusione sarebbero sufficienti solo 229 tonnellate di deuterio.

Altro vantaggio consiste nell'estrema facilità di procurarsi il combustibile nucleare. Il deuterio, infatti, si può estrarre in quantità praticamente illimitate dall'acqua di mare. Il trizio si ricava dal litio, un elemento presente ovunque nella crosta terrestre. Si supererebbe così quello che è il limite proprio dei combustibili fossili o dell'uranio, cioè la loro presenza in quantità limitate e la loro concentrazione in alcune regioni della Terra.

Il processo di fusione nucleare, infine, assicurano gli scienziati, non crea scorie radioattive e non inquina l'ambiente. Fornisce, insomma, un'energia pulita. Sussiste è vero il problema della radioattività negli impianti. Ma questa, dicono i tecnici, ha un rapido decadimento. Dopo essere andata fuori esercizio, una centrale a fusione dovrebbe restare impraticabile solo per un centinaio di anni, poi diventerebbe inoffensiva.

La gara alla realizzazione del Sole in bottiglia è in pieno svolgimento. In Italia, un gruppo di ricercatori ha proposto di costruire una macchina a confinamento magnetico diversa dal Tokamak, detta Ignitor, che dovrebbe dimostrare, nel giro di pochi anni, la fattibilità della reazione di fusione controllata. Si tratta di una proposta che ha suscitato polemiche poiché viene considerata da alcuni come una dispersione degli sforzi italiani attualmente concentrati sulla linea Tokamak dell'ENEA.

La Comunità Europea, attraverso l'**EURATOM**, oltre a coordinare i programmi di fusione nucleare dei paesi membri, sta realizzando una grande macchina detta **JET**, dalle iniziali di *Joint European Torus,* in costruzione a Culham in Inghilterra. Entrerà in funzione nel 1984-85 e sarà il più grande Tokamak europeo.

Negli Stati Uniti e nell'Unione Sovietica, coperti da segreto militare, si stanno sviluppando anche metodi di fusione che non ricorrono al confinamento magnetico ma a quello cosiddetto inerziale. Si tratta di piccoli globi di deuterio-trizio, contenuti in sfere metalliche, che vengono colpiti con raggi laser, portati a temperature di fusione e fatti esplodere come minuscole bombe termonucleari.

Se almeno una di queste fantastiche realizzazioni riuscirà a dimostrare la concreta possibilità del processo di fusione nucleare, nulla si opporrà alla manipolazione del fuoco solare e l'uomo potrà liberarsi per sempre dall'affanno della povertà energetica.

Quanti fornelli ancora?

Il futuro lontano sembra insomma riservarci delle soluzioni confortanti per il problema energetico, anche se ciò richiederà saggezza; perché non bisogna dimenticare che questo « fuoco degli dei », come è stato chiamato, aggiunge continuamente calore all'atmosfera della Terra, così come fa del resto ogni altra fonte energetica (comprese le eventuali centrali solari spaziali), e quindi c'è un limite di sopportabilità per questo calore da parte dell'ecosistema terrestre.

È come se in un piccolo ambiente si mettessero 10, o 20, o 100 cucine a gas: dopo un po' la temperatura del locale diventerebbe insopportabile. Bisognerà quindi che in questo nostro piccolo pianeta, in cui aumenta continuamente la popolazione e aumenta il desiderio di una vita migliore (e quindi il bisogno di energia), tutte queste varie cose trovino un loro equilibrio, perché *tutte insieme* non possono aumentare.

O diminuiscono le cucine a gas, o il loro uso, oppure i clienti. Questo è un problema che non potremo affrontare nel 2020, quando sarà troppo tardi.

Del resto, anche se in futuro avremo questa benedetta fusione, non dimentichiamo che oggi, comunque, *non c'è.* La prossima generazione avrà forse il « fuoco degli dei », ma noi intanto rischiamo di rimanere al freddo. È purtroppo la nostra generazione a doversela cavare, in questi prossimi 30-40 anni, rendendosi conto che non c'è alcuna altra nuova tecnologia che in questo frattempo possa risolvere da sola il problema energetico. Occorre costruire un ponte, insomma, verso il 2010 o il 2020, cioè verso l'era in cui tornerà (forse) l'energia illimitata e a basso prezzo.

La scocciatura è che dobbiamo essere noi a realizzare questo ponte. Con molti sforzi e forse con notevoli sacrifici. Purtroppo non possiamo fare diversamente.

Sta quindi a noi affrontare questo periodo di transizione. Con intelligenza. Oppure con stupidità, come appunto stiamo facendo.

Questa difficoltà di adattamento mentale ha con ogni probabilità anche una causa sotterranea di cui si parla poco, ma che ha un peso enorme: la grande rapidità dei cambiamenti stessi. Essi richiedono una velocità di riflessi intellettuali che può esistere saltuariamente in singoli individui, ma che difficilmente può esistere in larghe popolazioni umane.

Infatti nell'arco di una sola generazione il mondo è cambiato più di quanto è cambiato nei duemila anni precedenti.

Sarebbe bene quindi ora di cercare di esplorare un po' meglio questa dimensione assolutamente nuova, che per la prima volta nella storia dell'umanità pone una vera e propria sfida alla nostra intelligenza e alla nostra immaginazione.

Dalla civiltà del pane a quella del petrolio

Quando mio padre nacque, nel gennaio 1875, si viveva in un modo non molto diverso da quello dei Romani: ci si illuminava col lume a petrolio, si viaggiava in carrozza, si navigava sui velieri, non esisteva la lampadina, né il telefono, né tutto ciò che comporta oggi l'elettricità. L'80% della popolazione lavorava nei campi, una percentuale non molto diversa era analfabeta. Si moriva per una semplice infezione, a scuola andavano in pochi, la cultura era appannaggio di una élite. La mortalità infantile era del 50 % (del restante 50 %, la metà moriva prima dell'età riproduttiva). Le informazioni e le idee circolavano poco, in assenza di cinema, radio e televisione.

Si potevano, a quel tempo, avere comportamenti irrazionali senza provocare inquinamenti globali, crisi energetiche, distruzioni nucleari; l'ecosistema era quello del campo di grano e la razionalità (quella che mi ha insegnato mio padre) era un semplice talento individuale.

Nel giro di una generazione si è verificata invece la più grande esplosione di scoperte, conoscenze e trasformazioni che l'umanità abbia mai conosciuto in tutta la sua storia. In ogni campo, dai trasporti alle comunicazioni, dall'industria alla medicina, dalla scuola al mondo del lavoro, questa esplosione ha modificato di colpo e in profondità certe antiche situazioni che erano durate per secoli. Il mondo si è rapidamente popolato di uomini e di industrie, di macchine e di scuole, di farmaci e di giornali, di laboratori e anche di armi micidiali.

Questa rivoluzione scientifico-tecnologica, si potrebbe dire, ha sostanzialmente amplificato il gesto umano, così come avviene con un pantografo: oggi sappiamo costruire di più, ma anche distruggere di più. Possiamo vedere più lontano con gli occhi della televisione, sentire più lontano con le orecchie della radio, viaggiare più in fretta con le ali dell'aereo, ma soprattutto possiamo anche sterminare l'intero pianeta con gli arsenali nucleari.

Il passaggio, nell'arco di una generazione, dal fucile ad avancarica alla bomba atomica, non richiede oggi soltanto un diverso manuale tecnico d'uso; richiede una cultura diversa. Infatti, ciò che è cambiato non è soltanto il mondo delle cose, ma anche quello delle idee. Siamo passati dalla civiltà del pane a quella del petrolio, e viaggiamo ora verso una civiltà post-industriale, che ci richiederà una capacità di immaginazione (e anche di razionalità) senza precedenti.

Non solo, ma l'enorme sviluppo delle conoscenze ha modificato sempre più la stessa visione dell'uomo e della natura: andando nello spazio o in fondo agli oceani, penetrando nel nucleo dell'atomo o in quello della cellula, abbiamo cominciato a trovare alcune risposte, parziali, alle antiche domande dei filosofi: Cos'è l'universo? Come è nata la Terra? Come ha preso origine la vita? Come è apparso l'uomo? Cos'è il pensiero? Quale sarà il destino del nostro pianeta?

Di fronte a questa duplice rivoluzione tecnica e culturale (che richiede obbligatoriamente un crescente adattamento educativo e manageriale) i nostri tempi di reazione sono stati e sono ancora molto lenti. Nell'arco di una generazione, infatti, è difficile saltarne dieci o cento. Così la nostra cultura è rimasta ancora in larga misura pre-scientifica, incapace di quella flessibilità mentale che permetterebbe a tutti noi di cavalcare meglio questo vento dei tempi, anziché subirlo.

Purtroppo, invece, ci lamentiamo spesso delle conseguenze dello sviluppo tecnologico (che ci ha permesso di istruirci, curarci, nutrirci, informarci, liberarci dalla fatica e dalla mortalità precoce) perché non riusciamo a prevederne e a gestirne certi sottoprodotti negativi.

E paradossalmente parliamo di crisi catastrofiche proprio nel momento in cui abbiamo saputo (come mai in tutta la nostra storia) produrre tanto cibo, benessere, energia, educazione, assistenza medica. Non vi è allora una crisi di adattamento?

Guardando il nostro sviluppo attuale, si ha come l'impressione di vedere uno di quei film in cui l'immagine è andata fuori sincrono rispetto al parlato. Per riportare la proiezione in sincrono ci sono, come è bene noto, due soli modi: o ritardare l'immagine (cioè fermare lo sviluppo tecnologico, cosa praticamente non possibile) oppure anticipare il parlato (cioè accelerare il « pensato », l'adattamento mentale ed educativo). Penso che questa sia la sola strada che ci resta da seguire.

E la prima cosa da fare è capire il ruolo della tecnologia. Non soltanto il suo ruolo pratico ma, per così dire, la sua filosofia.

Noi siamo abituati a vedere la tecnologia sotto forma di oggetti, di comodità, di macchine più o meno utili. Spesso ne vediamo solo gli aspetti « miracolistici » (la navetta spaziale, il radiotelescopio, i trapianti cardiaci) oppure gli aspetti « demoniaci » (gli inquinamenti, la catena di montaggio, la bomba atomica). Ma generalmente ci sfugge il senso di tutto ciò nel contesto umano. Siamo abituati a guardare più i singoli fotogrammi (belli e brutti) anziché l'insieme del film in movimento. Anche gli economisti, molto spesso, dimenticano il ruolo che la tecnologia ha avuto e ha nelle trasformazioni umane. Eppure basta qualche riflessione e qualche dato per rendersi subito conto che la tecnologia è un po' come quella famosa « macchina del tempo » descritta in un famoso libro di fantascienza, grazie alla quale il protagonista poteva cambiare epoca, scendendo a scelta nel passato o nel futuro.

La macchina del tempo

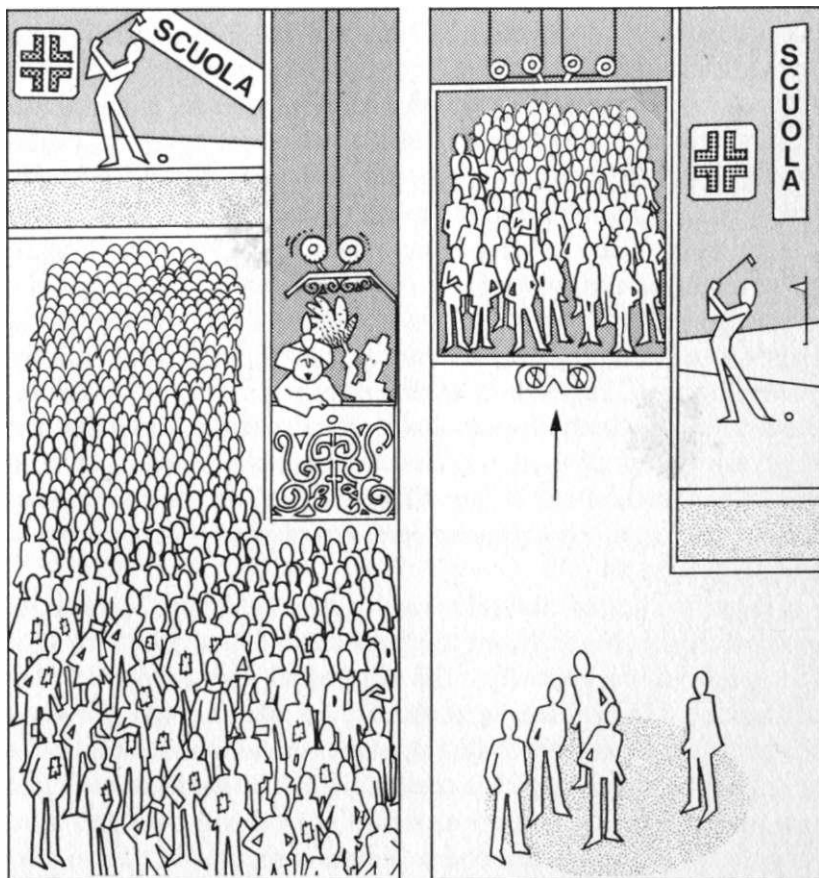
Anche noi, nel nostro pianeta, siamo oggi in grado di viaggiare non solo nello spazio ma anche nel tempo. Con un ae-

reo, infatti, possiamo atterrare nell'Ottocento, nel Medio Evo, o perfino nella preistoria, cambiando secolo in qualche ora e visitando società umane che vivono in epoche del tutto diverse. Tutti gli uomini che vivono oggi sulla Terra sono contemporanei, ma le loro fatiche sono diverse, perché le loro tecnologie sono diverse.

Per capire meglio il ruolo della tecnologia, sarebbe bene rimanere un attimo nella preistoria, per vedere come sono cominciate le cose. L'uomo preistorico era raccoglitore e cacciatore, doveva cioè procurarsi tutto da solo: cibo, abiti, riparo. Con l'invenzione dell'agricoltura, che fu la prima grande rivoluzione tecnologica, aumentarono le derrate, e alcuni uomini poterono occuparsi di cose diverse, mangiando il cibo *prodotto da altri* e dando in cambio, per esempio, vasi o magari attrezzi agricoli, cioè cibo contro oggetti.

Man mano che l'efficienza nel produrre questi beni aumentava, alcuni poterono fare a meno di produrre cibi e oggetti e si specializzarono per esempio nel commercio, trasportando in giro questi beni, offrendo cioè dei servizi. Nacque così, dopo il settore dell'agricoltura (cioè il primario) e quello dell'industria (cioè il secondario), il settore terziario (quello dei servizi), composto da persone che non erano produttori di beni ma solo consumatori e che offrivano però in cambio il loro lavoro per altre cose: commerci, trasporti, insegnamento o magari spettacoli.

Questi tre settori esistono tutt'oggi nelle nostre economie, ma con ripartizioni enormemente diverse a seconda dei paesi. Per esempio, un contadino del Niger può produrre cibo, mediamente, solo per due persone. E evidente che, quando si ha solo una zappa, il 90% della popolazione deve allora rimanere nei campi per sfamarsi. Un contadino nordamericano, invece, con uno sforzo assai minore, riesce a produrre cibo per oltre 50 persone. Ciò significa che se si hanno meccanizzazioni, fertilizzanti ed energia può bastare poco più del 3% della popolazione per produrre cibo per tutti, anzi perfino per esportarne milioni di tonnellate. Più un paese quindi avanza nell'agricoltura, meno ha contadini.

Quello che è meno noto, è che lo stesso discorso avviene ormai nelle società più avanzate anche per l'industria: cioè più un paese è industrializzato, meno ha gente che lavora nel settore industriale. Per esempio, oggi in Italia circa il 40% della popolazione attiva lavora nell'industria, mentre in Svezia, paese più industrializzato, solo il 35%; negli Stati Uniti, ancora più industrializzati, solo il 29%.

La tecnologia (e le risorse che ne derivano) è come un ascensore: permette di portare un numero crescente di persone verso l'istruzione, l'assistenza, il tempo libero, l'arte, la letteratura ecc. Nei paesi arretrati, dove questo «ascensore» è piccolo, pochi possono salirvi: nei paesi ad alto sviluppo tecnologico oltre metà della popolazione non lavora più nei campi o nell'industria, ma si trova già nel terziario.

Per capire perché ciò avvenga, basta pensare che se si costruissero oggi le Piramidi, non sarebbero necessari migliaia di schiavi, basterebbero poche pale meccaniche. Invece di tirare corde e sollevare massi, gran parte di questi uomini potrebbero allora sedersi sui bordi, riposarsi, commerciare, lavorare nei servizi, incorniciare a leggere, istruirsi, magari suonare il violino, scrivere, fare dello sport, oppure inventare nuove macchine ancora più efficienti per liberare un numero sempre crescente di altri uomini dai campi e dalle fabbriche, e farli entrare con loro nel terziario, cioè nel settore dei servizi.

È appunto quello che sta avvenendo in ogni società industriale, sia nei paesi occidentali che in quelli dell'Est. Più aumenta l'efficienza nel produrre cibo e oggetti più la gente si può trasferire nell'educazione, nella sanità, nell'informazione, nell'assistenza, nel tempo libero, nella musica, nella scienza, nel turismo, nella letteratura o nella filosofia, cioè in tutte quelle attività definite « a misura d'uomo ». Grazie allo sviluppo tecnologico oggi, nei paesi più avanzati, oltre la metà della popolazione si trova già nel settore terziario.

I meccanismi dell'emancipazione

Il grande problema, naturalmente, è quello di indirizzare nel modo giusto questo sviluppo reso possibile dalla tecnologia; fare in modo, cioè, che sia davvero rivolto a valorizzare le qualità umane, non a meccanizzarle, che sia uno strumento di liberazione, un attrezzo che permetta di favorire le inclinazioni individuali e quindi le scelte. Senza tecnologia, invece, si tornerebbe rapidamente indietro nella « moviola del tempo », si cambierebbe epoca, torneremmo quasi tutti a zappare la terra e torneremmo quasi tutti all'analfabetismo, tranne pochi. Tranne cioè coloro che si troverebbero nella situazione di utilizzare l'energia muscolare degli altri per disporre a proprio vantaggio di tempo libero e di benessere e anche di cultura.

Ciò vale anche per la donna: l'emancipazione femminile infatti si è realizzata proprio attraverso l'energia, le invenzioni e

le risorse rese disponibili dalla tecnologia. Se si riportasse una donna moderna in condizioni pre-tecnologiche, essa tornerebbe rapidamente alla povertà, all'immobilità domestica e all'analfabetismo. In una tale situazione, con una speranza di vita di appena 40 anni da trascorrere tra gravidanze e allattamenti, cercando acqua al pozzo o lavando i panni al fiume, senza possibilità di indipendenza economica e senza istruzione, diventerebbe assai difficile parlare di emancipazione.

Per andare quindi verso una società sempre più avanzata, addirittura « post-industriale » come si dice oggi, occorre oltre ad adeguati modelli socio-economici una efficienza sempre crescente nei nostri sistemi. Non solo per produrre cibo e oggetti, ma per produrre scuole e teatri, università e ospedali.

Infatti anche un malato, per esempio un malato di Londra, di Roma o di Mosca, è un grande consumatore di risorse: mentre quello di Calcutta ne consuma pochissime. È un malato ecologico, per così dire. Ma nessuno di noi, certamente, vorrebbe tornare a questo tipo di ecologia.

La sfida oggi è quella quindi di andare verso società più sviluppate, in cui tutti possano accedere al benessere, all'educazione e alle cure: ma al tempo stesso trovare l'energia e le risorse sufficienti per alimentare questo sviluppo, senza devastare il pianeta e avvelenare l'ambiente. Ma di fronte all'attuale crisi energetica, all'aumento della popolazione mondiale, all'insufficienza di risorse, alla perdita di efficienza dei nostri sistemi, possiamo davvero pensare di espanderci sempre più in questa direzione? Cioè di continuare a cambiare epoca dirigendoci verso il futuro e anche di far cambiare epoca a coloro che si trovano oggi ancora nel passato? O non siamo tecnicamente e soprattutto culturalmente impreparati per un'impresa del genere?

Il ruolo dei quattrini

È evidente che, a questo punto, il discorso torna a essere culturale. È infatti abbastanza ovvio che, più ancora della di-

sponibilità di tecnologie, è la cultura di un paese (cultura intesa nel senso più vasto: politico, economico, educativo) che può modificare in definitiva il quadro di vita della società.

Basterebbe una semplice considerazione per illustrare questo concetto: tutte le invenzioni e le tecnologie sono oggi teoricamente disponibili per chiunque, ma in pratica solo pochi le usano effettivamente. I paesi in via di sviluppo, per esempio, non hanno più bisogno di inventare l'elettronica, il trattore, la radio, il motore diesel, il microprocessore ecc., come hanno fatto i paesi industrializzati nel passato: essi hanno già tutte le conoscenze pronte, sanno come si possono costruire e usare tutte queste cose. Eppure ne dispongono in misura molto limitata.

Come mai?

Il problema, evidentemente, non è solo la disponibilità fisica di tecnologie, ma la capacità di usarle, di organizzare dei progetti, di disporre di persone in grado di mettere in pratica queste idee, di amministratori capaci di gestire delle operazioni complesse ecc. E poi, naturalmente, occorrono parecchi quattrini.

Ma i quattrini sono come il carburante per un'automobile: servono a ben poco se manca il motore. Essi mettono rapidamente in moto la macchina solo quando tutti i congegni e le rotelline sono già pronti a funzionare. Lo si è visto con l'Europa del dopo-guerra (e in particolare la Germania che era totalmente distrutta): nel giro di pochi anni è stato possibile realizzare uno sviluppo « miracoloso ». Mentre invece i molti finanziamenti che sono andati ad aree depresse (depresse non solo perché povere, ma perché prive di una cultura industriale) non sono riusciti a realizzare il tanto atteso decollo. Un decollo che sarebbe stato davvero « miracoloso », perché avrebbe sovvertito le leggi di gravità economiche (mentre il « miracolo » tedesco era prevedibilmente nell'ordine naturale delle cose).

Quindi quando si parla di sviluppo di una società questa dimensione culturale deve essere sempre inserita nel discorso, altrimenti si va fuori strada.

Ma questa cultura, lo abbiamo visto, deve a sua volta adattarsi di continuo: la corte di Lorenzo de' Medici, che era probabilmente la più colta del Rinascimento, oggi franerebbe miseramente se dovesse gestire una qualsiasi politica d'investimenti o se dovesse elaborare un piano a medio termine.

Ciò significa che per essere uomini del proprio tempo occorre avere una cultura del proprio tempo: anzi del tempo che verrà, dal momento che quando si guida un qualsiasi mezzo bisogna disporre di una buona visibilità e avere anche una chiara visione di dove si vuol andare.

Il problema è che oggi noi viviamo in una società industriale con una mentalità e una preparazione pre-tecnologica: in certe cose la nostra cultura è molto raffinata, assai più di quella della corte medicea, ma in altre è semi-analfabeta. La crisi energetica, per esempio, si è dimostrata soprattutto una crisi di intelligenza. Cioè di incapacità di pre-vedere, capire e organizzare i nostri sistemi in modo da renderli meno vulnerabili ai colpi d'ariete della crisi petrolifera.

Del resto, lo stesso processo dello sviluppo culturale è strettamente collegato a quello dello sviluppo tecnico-industriale. L'inefficienza dell'uno inaridisce la crescita dell'altro.

In altre parole non soltanto la cultura crea le macchine, ma le macchine creano cultura. E se questo *feed-back,* cioè questo anello di retro-azione, viene a mancare, tutto il sistema rallenta e perde colpi. E quanto è accaduto appunto con il problema energetico. Perché anche la cultura è oggi una grande consumatrice di petrolio. Vediamo più da vicino questo meccanismo.

Mi faccia il pieno di intelligenza

L'energia, ormai lo sappiamo, è l'alimento essenziale per il nostro sviluppo. Nel nostro paese il consumo annuo procapite è arrivato a circa 2,7 tonnellate di petrolio equivalente. Spesso pensiamo che tutto ciò serva solo a far girare i nostri sistemi tecnologici, ma quante tonnellate vanno alla cultura?

Prendiamo un esempio: un libro e il suo lettore. Un libro sostanzialmente è il punto di arrivo di una lunghissima catena di tecnologie altamente consumatrici di risorse e di energie: macchine per stamparlo, alberi per produrre la carta necessaria, camion per trasportare gli alberi, benzina per fare andare i camion, raffinerie per produrre benzina, fabbriche per costruire le macchine tipografiche, industrie chimiche per gli inchiostri, i colori, le colle ecc. Senza questa catena tecnologica ed energetica, i libri si scriverebbero ancora a mano, e solo pochissime persone potrebbero leggerli.

Analogamente ogni lettore per diventare tale ha dietro di sé una lunga catena tecnologica ed energetica. Se si facesse il conto di quante risorse in petrolio, carbone, macchinario, energia, occorrono per produrre un lettore, ci si accorgerebbe che si tratta di una cifra strabiliante. Un diploma o una laurea significano infatti dieci o vent'anni di studio, con un consumo secco, cioè senza contropartita in lavoro, in tutti i campi: aule, insegnanti, trasporti, abiti, cibo e naturalmente libri.

Senza questa catena di energia e tecnologia, i lettori sarebbero incapaci di leggere, perché dovrebbero pascolare le pecore fin dall'infanzia. Così come è sempre avvenuto in passato. La stessa sorte toccherebbe a violinisti, pittori, scrittori. Tutti a pascolare le pecore, anziché dipingere, scrivere e suonare. È vero che vivrebbero a contatto con la natura; ma probabilmente non apprezzerebbero molto questo contatto.

La natura infatti è sempre stata la peggior nemica dell'uomo pre-tecnologico, che in passato ha dovuto lottare quotidianamente contro le sue insidie: le intemperie, gli insetti, le infezioni, la fame, gli animali. Soltanto quando ha potuto dominare la natura ha cominciato ad apprezzarla e a godere dei suoi aspetti più belli.

Certo, in ogni epoca gli uomini hanno desiderato far studiare i figli, faticare di meno, vivere più a lungo, ma ciò non è mai stato possibile in nessuna società senza tecnologia ed energia. E stato infatti l'aumento dell'efficienza a permettere lo sviluppo non solo del benessere, ma anche delle attività culturali. Si dice spesso che la nostra oggi è una società di

tecnici e di scienziati a dire il vero è soprattutto una società di artisti e di intellettuali. In nessuna epoca del passato infatti una società ha potuto avere un numero così grande di musicisti, pittori, giornalisti, compositori, storici, poeti, registi, cantanti, romanzieri, esteti, insegnanti, ricercatori, semiologi, commediografi, archeologi, scultori, saggisti, linguisti, scenografi, cantautori, sociologi, educatori, quando mai?

Se è questo il tipo di sviluppo che vogliamo mantenere e accrescere in futuro, è necessario che venga rispettata una condizione essenziale: è necessario cioè che la cultura sia in grado di alimentare a sua volta il sistema restituendo energia e tecnologie sotto forma di invenzioni, di organizzazione, di idee, di stimoli, di conoscenze. Infatti solo grazie a delle scelte intelligenti è possibile mantenere l'equilibrio fra il crescente consumo di risorse e la creazione di *nuove* risorse.

Le risorse e il cervello

Questa bilancia, lo sappiamo, si sta oggi squilibrando, e non è ormai più possibile avanzare oltre certi limiti se non si compensa continuamente il bilanciere con nuovi contrappesi. C'è incompatibilità: vale a dire che c'è crisi, inflazione, deterioramento ambientale. Ciò significa che non possiamo più avanzare? No, significa che dobbiamo far ricorso molto più che in passato alla nostra intelligenza. Le risorse infatti si creano soprattutto col cervello.

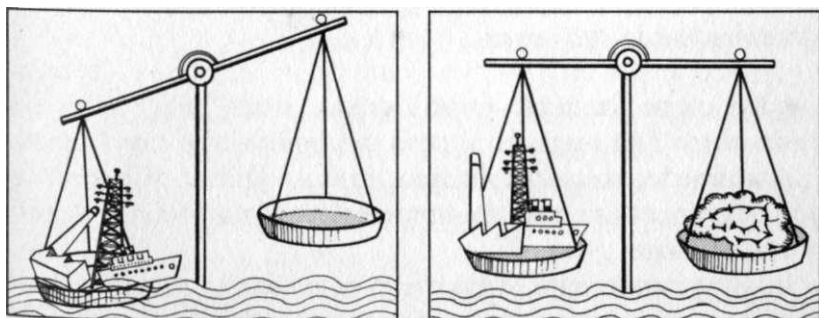
Si dice spesso per esempio che il petrolio è una ricchezza naturale. In realtà nessuno lo ha mai considerato una ricchezza naturale nel corso della storia; per millenni ci siamo rimasti seduti sopra senza usarlo, fino a quando qualcuno ha inventato un motore capace di utilizzare questo liquido maleodorante, per produrre movimento.

Analogamente delle rocce inerti non sono una ricchezza naturale, ma lo diventano se qualcuno riesce per esempio a estrarre uranio e a costruire una macchina capace di utilizzare questo uranio per produrre elettricità.

E così pure l'acqua del mare non è una ricchezza, ma se riusciremo a utilizzare il deuterio che essa contiene per realizzare la fusione nucleare, potremo trarne energia per secoli o per millenni. In altre parole le vere ricchezze naturali, i giacimenti più ricchi, sono in realtà quelli cerebrali. Cioè consistono nella capacità di inventare strumenti e attrezzi e usarli nel modo giusto, a nostro vantaggio.

Ciò significa non solo costruire macchine, ma anche capire la complessità che esse provocano, individuare le condizioni e le leve che producono i veri cambiamenti, e agire nei punti giusti, intervenendo in tempo per correggere e riequilibrare lo sviluppo. In modo che questa crescita non si paghi appunto in termini di crisi, di inquinamenti e di degradazioni anche della qualità della vita. Tutto ciò richiede una capacità crescente di gestire i sistemi complessi, e quindi una capacità culturale di capire i problemi posti dalla tecnologia al nostro tempo, e di saperli risolvere tempestivamente.

In altre parole, dobbiamo essere in grado di meritare la tecnologia di cui disponiamo; altrimenti rischieremo di sbagliare le manovre o di farle in ritardo con una serie di conseguenze più che spiacevoli. Questo è un problema non solo politico, ma anche tecnico e soprattutto culturale in senso lato.

Ogni volta che aumentiamo i consumi dell'1%, ciò significa che siamo davvero diventati l'1% più intelligenti?

Per rimettere in equilibrio le nostre distorsioni di sviluppo, ed evitare il naufragio, occorre pareggiare i conti inserendo più intelligenza nell'altro piatto della bilancia. Molte delle attuali crisi sono soprattutto crisi di intelligenza.

È una buona domanda, che rimarrà purtroppo senza risposta. Ma essa pone, senza dubbio, un problema che non ci siamo mai abbastanza posti: quello cioè delle incompatibilità.

Noi spesso vogliamo solo i vantaggi di una certa cosa, ma senza troppo chiederci cosa siamo disposti a dare in cambio. Vorremmo per esempio avere sviluppo culturale ma non ciminiere, cibo per tutti ma non pesticidi, energia abbondante ma non inquinamenti.

Purtroppo non esistono monetine a una sola faccia: c'è sempre un sotto e un sopra. Un diritto e un rovescio. In altre parole, ogni cosa ha i suoi prò e i suoi contro.

Naturalmente nelle nostre società industriali le connessioni tra i problemi sono moltissime: e quindi la « geometria » dei prò e dei contro è assai complessa. E ciò rende i problemi più difficili da capire e da risolvere. Lo sviluppo tecnologico, infatti, ha talmente trasformato le nostre società e lo stesso pianeta, che ormai tutto è collegato, intrecciato, interconnesso. Siamo immersi in un sistema in cui le incompatibilità creano inevitabilmente onde di ritorno, a volte molto spiacevoli. Le nostre società sono diventate, infatti, come quella famosa vasca in cui Archimede, immergendosi, scoprì il suo celebre principio.

Archimede e la sua vasca

« Un corpo immerso in un liquido, riceve una spinta dal basso verso l'alto uguale al peso del liquido spostato. »

Archimede, col suo principio, fu tra i primi a riflettere su uno dei concetti di base dei fenomeni della natura: il concetto di retro-azione.

In altre parole ogni volta che si modificano gli equilibri di un sistema si provoca un certo numero di conseguenze inevitabili. Non si può immergere niente in una vasca senza far salire il livello dell'acqua; o impedire che vi siano spinte e

controspinte. Così come non si può mettere un peso su un piatto della bilancia senza che l'altro automaticamente si alzi.

Questo concetto di retro-azione diventa fondamentale nei sistemi viventi. Tutta la biologia si basa infatti su questa dinamica di azioni e retro-azioni; ed è proprio l'equilibrio fra queste varie spinte che consente la vita.

Un fiore, per esempio, ha bisogno di varie cose: luce, acqua, terra, calore, concimi ecc. E il giusto equilibrio tra questi fattori che gli permette di svilupparsi. Ma se si aumenta o si diminuisce troppo l'acqua, la luce o il calore, il fiore reagisce di conseguenza: al di là di certi limiti perde il suo equilibrio interno e muore.

Anche le nostre società industriali sono come le forme viventi, sensibili a ogni variazione dell'ecosistema da cui dipendono. Moltissimi elementi interagiscono insieme: tecnologia, materie prime, cibo, energia, capitali, conoscenze, organizzazione, mercati ecc. Anche qui è il giusto rapporto tra questi vari fattori che permette alla società di svilupparsi in equilibrio. Se si aumenta o si diminuisce uno o più elementi il sistema reagisce di conseguenza. Ma al di là di certi limiti perde il suo equilibrio interno ed entra in crisi.

Quello che complica le cose è che questi vari fattori sono tutti collegati fra loro, in modo molto intrecciato.

Non si può avere tecnologia senza conoscenze, né cibo senza tecnologia, né energia senza capitali, né conoscenze senza energia. Ogni cosa dipende da ogni altra.

E le variazioni di ognuno degli elementi si ripercuotono su ogni altro.

Nel mondo moderno questa rete si estende in modo sempre più ramificato e lontano. Facciamo un esempio.

Se nel secolo scorso al largo delle coste del Perù la temperatura dell'acqua fosse scesa di qualche grado, noi qui in Europa non ci saremmo accorti di nulla.

Ecco invece quello che è avvenuto nel 1972: una diminuzione della temperatura in quella zona ha fatto diminuire la riproduzione delle acciughe, e quindi è diminuita la pesca. E così diminuita anche la disponibilità di farina di pesce destina-

ta all'alimentazione del bestiame negli Stati Uniti, provocando un aumento dell'uso di cereali come mangimi e quindi un aumento del loro prezzo sui mercati mondiali.

Ciò ha causato, naturalmente, un rialzo del prezzo della carne, e quindi anche della nostra bistecca qui in Europa.

E solo un esempio, ma se ne potrebbero fare molti altri. Basta pensare a quello che è successo nel '73 con la guerra arabo-israeliana: un avvenimento accaduto a duemila chilometri di distanza da noi, ha improvvisamente messo a secco le nostre pompe di benzina, e ci ha fatto circolare a piedi la domenica.

O basta pensare ai contraccolpi di ogni tipo provocati da crisi o inflazioni che si estendono per contagio da un paese all'altro.

In altre parole, l'aumento della complessità e delle ramificazioni ha reso i nostri sistemi più vulnerabili. Anticamente l'uomo era molto più indipendente: si procurava il cibo da solo, costruiva la sua capanna, preparava i suoi attrezzi e confezionava i suoi abiti. Il suo ecosistema era molto ristretto: ciò che accadeva altrove non lo coinvolgeva granché.

Oggi, invece, noi siamo totalmente dipendenti da questa rete di connessioni: senza di essa nessuno di noi potrebbe mantenere il suo livello di vita, dal momento che sarebbe incapace di costruirsi da solo le macchine che usa, o l'appartamento che abita, o gli abiti che indossa, o i cibi che mangia.

In altre parole, l'aumento del benessere, lo sviluppo dell'educazione, della sanità, del tempo libero, dell'assistenza, del cibo, si paga appunto con una maggiore dipendenza da un ecosistema che deve essere continuamente controbilanciato da energia, materie prime, efficienza, competitività, risorse ecc.

Ecco quindi emergere il grande problema delle incompatibilità.

Se per esempio diminuisce la disponibilità di energia si crea inevitabilmente uno squilibrio: se non si interviene con delle modifiche, tutto il sistema perde quota e alla lunga si inabissa.

Per mantenere l'equilibrio, bisogna allora diminuire il be-

nessere, o il cibo, o il riscaldamento, o qualcos'altro. Oppure aumentare l'efficienza e la competitività. Oppure migliorare i sistemi energetici. Qualsiasi dosaggio può andar bene: basta che riporti l'equilibrio.

Quello che non è possibile è pensare di poter mantenere tutti i vantaggi senza controbilanciarli in qualche altro modo.

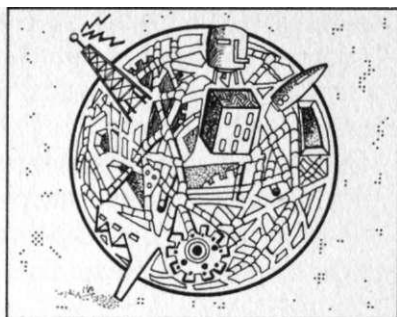
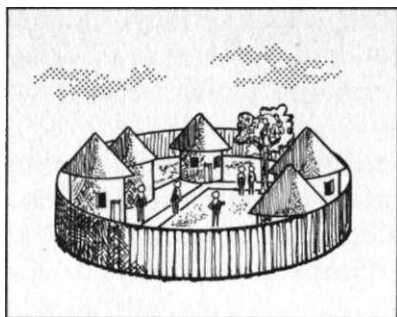
Sarebbe, come dice il proverbio, volere la botte piena e la moglie ubriaca. E anche l'uva nell'orto...

Connessioni nello spazio e nel tempo

Il problema delle incompatibilità è diventato, per i sistemi complessi, un problema fondamentale. Specialmente per una società come quella italiana che non ha risorse, e deve comperare all'estero cibo, materie prime ed energia. E può farlo soltanto vincendo la concorrenza sui mercati internazionali, cioè vendendo prodotti a prezzi più bassi, oppure a tecnologia più alta.

Il discorso sugli ecosistemi, del resto, si complica ulteriormente per via del fattore tempo: infatti le connessioni esistono non solo nello spazio, ma anche nel tempo. Altrimenti detto, certe situazioni attuali sono di fatto la conseguenza delle scelte del passato. O della mancanza di scelte. E così pure oggi stiamo preparando già le situazioni, o le crisi, di domani.

Un tempo, l'uomo primitivo era in grado di vedere subito le conseguenze di un suo gesto: capiva quindi facilmente le connessioni (e i rischi) tra un certo gesto e le sue conseguenze.

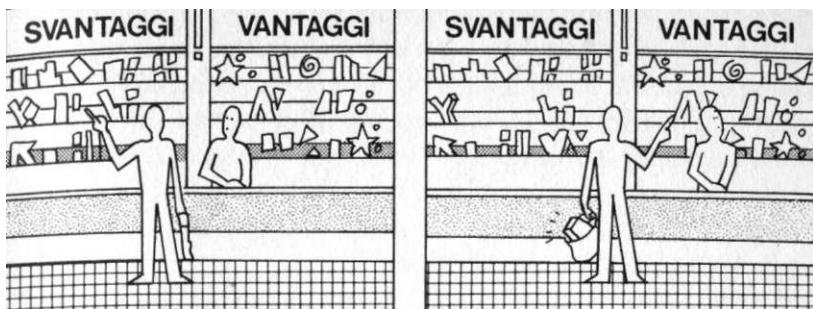
Oggi invece noi non riusciamo a vedere subito le conseguenze dei nostri comportamenti, o delle nostre scelte: le ripercussioni avvengono a volte al di là del nostro orizzonte, oppure molto in là nel futuro. Occorrerebbe più capacità immaginativa, per riuscire a vedere cose non ancora entrate nel campo visivo ed esserne motivati per agire. Esiste oggi una difficoltà intellettuale, nel comprendere questi ecosistemi così complessi: viviamo in un mare di dettagli di cui ci sfugge l'insieme, e la dinamica.

L'uomo primitivo viveva in un ecosistema molto semplice, e capiva subito le conseguenze dei suoi gesti. Nel nostro mondo, complicato, non riusciamo più a capire la complessità delle conseguenze lontane, che a volte sono contro-intuitive.

Ciò avviene perché c'è tendenza a privilegiare i propri interessi e il breve termine. Dennis Meadows, autore del famoso rapporto I *limiti dello sviluppo,* illustrò tutto questo con uno schema. Un individuo è infatti molto interessato ai suoi problemi presenti (oggi) e che lo coinvolgono direttamente (se stesso, la sua famiglia). Ma man mano che le cose si allontanano nel tempo (fra un anno, fra dieci anni, fra vent'anni) o nello spazio (la città, la nazione, il mondo), questo interesse diminuisce. I problemi futuri dell'umanità interessano solo pochissime persone.

Eppure noi ci muoviamo proprio in questa direzione. E inevitabilmente raccoglieremo quello che abbiamo seminato.

Razionali o emotivi?

Si potrebbe forse aggiungere, per concludere, che questa complessità dei nostri sistemi attuali non è nata da sola. Essa è, in realtà, il frutto delle nostre invenzioni e dei nostri progetti mentali. E, per così dire, la proiezione del nostro cervello.

Anche nel nostro cervello esiste una rete sterminata di circuiti, tutti interconnessi e che si influenzano a vicenda (anzi, è una rete ancor più complessa e sensibile). Le incompatibilità

Quando facciamo una scelta dobbiamo sempre accettare di «pagare» con degli svantaggi i vantaggi che vogliamo ottenere. Non esistono vantaggi «gratis». Né si possono avere cose incompatibili tra loro.

che si verificano negli ecosistemi umani trovano probabilmente in parte la loro origine proprio qui, dove hanno sede i nostri istinti, la nostra intelligenza, le nostre emozioni spesso in contrasto e in competizione tra loro. Il fatto è che le decisioni che richiedono razionalità non si possono prendere né con gli istinti né con le emozioni. Ma solo con la ragione.

Le scelte per agire sulla realtà e per rimettere in equilibrio la nostra bilancia possono naturalmente essere diverse, di vario tipo. Quello però che non è possibile è cercare di avere cose incompatibili tra loro.

Quando si vuole ottenere un beneficio, occorre accettare un sacrificio o fornire uno sforzo equivalente. Ogni vantaggio deve essere accompagnato da una contropartita. Per pareggiare i conti.

Altrimenti a che pro Archimede avrebbe scoperto il suo prezioso principio?

Non dobbiamo infatti dimenticare che questo meccanismo, purtroppo, è inesorabile perché funziona in modo *automatico*, senza tener conto dei nostri desideri (o delle nostre illusioni).

E se non si agisce intelligentemente sul sistema non si riescono ad aggiungere i pesi giusti per riequilibrare la bilancia.

Forse il modo più razionale di affrontare una scelta sarebbe allora quello di proclamare non ciò che vogliamo avere, ma gli *svantaggi* che siamo disposti ad accettare per ottenere quella

certa cosa; cioè quanto siamo disposti a pagarla. In ogni caso quello che non si può fare è volere una cosa senza accettare anche i risvolti di segno contrario che sono inevitabilmente insiti nella stessa scelta. C'è incompatibilità, con conseguenze nocive e anche patologiche. Il sistema si ammala. O peggio. Se si rompono certi equilibri bruscamente, al di là di certe « soglie », l'effetto può essere molto più grave di una semplice crisi: può essere un conflitto.

Tutta la storia dell'umanità è piena di guerre dovute a squilibri tra risorse e popolazione, tra cibo e territorio, tra materie prime e crescita.

Nelle popolazioni primitive esistevano molti « termostati » che permettevano di valutare rapidamente questi squilibri. Ancora di recente è stato possibile studiare in tribù della Nuova Guinea come attraverso la quantità di cibo disponibile per i maiali si poteva diagnosticare l'avvicinarsi di uno squilibrio (dovuto a una diminuzione delle derrate disponibili, o all'aumento della popolazione, o all'espandersi di una tribù vicina). In questo modo entravano subito in azione delle contromisure, per riequilibrare la situazione: per esempio dei giovani lasciavano il villaggio per stabilirsi altrove. Oppure, nel caso dell'espansione di una tribù vicina, veniva catturato e ucciso (barbaramente) un nemico, in modo che servisse da esempio e da deterrente per evitare guerre più allargate.

Nelle società moderne questi semplici « termostati » non funzionano più, poiché le connessioni tra i sistemi sono molto più complesse e le crescite, in ogni campo, molto più caotiche.

Ma proprio per questo dobbiamo essere ancora più attenti e cauti, per evitare che le incompatibilità create dallo sviluppo dei sistemi portino a crisi così profonde da essere trasferite sul terreno della guerra.

Perché oggi non siamo solo più armati di lance e frecce: anche in questo campo la tecnologia ha messo a disposizione strumenti sempre più potenti, tali da far persino temere per la sopravvivenza stessa del genere umano. Ed è di questo argomento che vorremmo adesso parlare.

La megamorte

L'incubo di un conflitto nucleare accompagna l'umanità dall'agosto del 1945, cioè da quando per la prima volta una bomba di potenza mai vista, distruggendo Hiroshima, apriva un'epoca nuova nei rapporti tra le nazioni.

Da allora le grandi potenze hanno perfezionato questi micidiali strumenti di morte, accatastando nei loro arsenali una tale quantità di bombe da far saltare tutto il pianeta.

La megamorte può partire ormai da qualunque angolo della Terra: dalle rampe mobili o sotterranee disseminate un po' ovunque, dai bombardieri strategici sempre pronti a partire, dai sottomarini che navigano come squali in tutte le acque del mondo, e persino sotto i ghiacci dell'Artico.

In pochi secondi può partire, da qualunque punto del globo, un volo di missili a testata multipla capaci di dirigersi con precisione millimetrica su certi obiettivi già ben determinati.

Infatti con le precise osservazioni rese possibili dai satelliti spia (sembra che riescano addirittura a fotografare dallo spazio la targa di un'automobile) le due superpotenze si scrutano 24 ore su 24, osservando la reciproca costruzione e localizzazione di rampe di lancio di missili. Esistono delle mappe molto dettagliate, e di conseguenza degli obiettivi già ben individuati.

Inoltre, accanto alla lista delle rampe da colpire in caso di attacco, esiste una lista di città e altri obiettivi da distruggere, basata su criteri che non sono stati mai ovviamente resi noti,

ma che possiamo intuire facilmente: centrali, fabbriche, depositi, zone industriali ecc.

La morte atomica arriva quasi senza preannuncio. Negli Stati Uniti si considera che il tempo per dare l'allarme (una volta avvistati i missili nemici) sarebbe di soli 20 minuti... Troppo pochi evidentemente per realizzare un qualsiasi piano di evacuazione di una città.

Del resto le due superpotenze, di comune accordo, hanno rinunciato a qualsiasi sistema difensivo per proteggere gli obiettivi civili, che rimangono così aperti a eventuali attacchi distruttivi.

Ma cosa succederebbe in caso di attacco atomico? Esistono vari studi compiuti da esperti sulle possibili conseguenze di una guerra atomica. E ci si rende facilmente conto che, diversamente da una guerra tradizionale, una guerra atomica non provocherebbe solo morte e distruzione, ma taglierebbe letteralmente le gambe ai nostri sistemi (così complessi). E provocherebbe una degenerazione tale delle strutture industriali da lasciar molti dubbi su una possibilità di recupero futura.

Quello che colpisce in questi studi non è soltanto il numero imponente delle vittime: è anche il fatto che i sopravvissuti rimarrebbero in un caos totale, che difficilmente riusciamo a immaginare. Infatti senza energia entrerebbero in crisi i trasporti, e quindi la distribuzione del cibo. Senza centrali si fermerebbero i sistemi di comunicazione, il lavoro, la stessa organizzazione pubblica. Per non parlare dell'organizzazione sanitaria, della polizia, dei giornali, dei telefoni ecc.

Vediamo in pratica cosa potrebbe succedere.

Guerre nucleari: 4 casi

(di Giangi Poli)

Dopo gli incubi atomici che accompagnarono per notti e notti l'infanzia di molti di noi e dopo la relativa tranquillità basata, per anni, sulla speranza che nessuna superpotenza volesse sacrificare milioni e milioni di suoi cittadini in una guerra

atomica parziale o totale, oggi si ripresentano le condizioni per nuovi incubi, ancora più angosciosi di quelli di 30 anni fa.

Si ricomincia a parlare di guerra. E non più come la fine del mondo, ma come una guerra, anche se atomica, alla quale in qualche modo si può sopravvivere.

Per chiarire la situazione l'**OTA** (un ente che dipende dal Congresso americano e che pubblica studi sulle conseguenze della scienza e della tecnologia sull'uomo, sull'economia, sull'ecologia) ha reso noto un dettagliatissimo rapporto sugli effetti della guerra nucleare.

È un inventario freddo e distaccato, ma non per questo meno terrificante, di cosa può aspettarci in una guerra atomica. O peggio, di cosa aspetta i sopravvissuti nel periodo del dopobomba.

Una bomba atomica o all'idrogeno, piccola o grande, produce sempre quattro effetti principali. Un formidabile soffio che rade al suolo ogni edificio, un'onda di radiazioni termiche (circa il 35% dell'energia sviluppata da una di queste bombe si tramuta in calore) che ustionano chi è esposto e incendiano ogni cosa possibile, una radioattività che può colpire immediatamente o dopo molto tempo durante la ricaduta a terra delle famose nuvole radioattive (e che provoca una orribile morte lenta) e infine un'onda elettromagnetica che può produrre differenze di potenziale enormi con effetti ancora ignoti sull'uomo.

E l'insieme di questi effetti che rende l'arma atomica così spaventosa e la guerra nucleare così piena di incognite. Lo studio americano si divide in quattro casi di gravità crescente.

1° caso. Attacco isolato con una bomba da 1 megaton (un milione di tonnellate di tritolo) *su una sola città degli Stati Uniti o dell'Unione Sovietica* (Detroit e Leningrado, entrambe con 4.300.000 abitanti).

È il caso più improbabile dal punto di vista militare, ma il più possibile nel caso di un errore o di una « pazzia ». In questo caso gli effetti combinati del soffio, dell'onda termica e di quella radioattiva produrrebbero la perdita di 640 mila perso-

ne. Il paese, rimasto intatto, potrebbe intervenire per aiutare la città colpita.

Nel caso, molto più probabile, di un attacco con una bomba da 25 megaton (25 milioni di tonnellate di tritolo) i morti sarebbero 1.840.000 e i feriti 1.360.000; in totale più di 3 milioni di perdite. Tutte le case e le industrie sarebbero distrutte.

A Leningrado, dove non esistono le grandi estensioni di abitazioni individuali di Detroit e dove tutta la popolazione è concentrata in grandi palazzi di molti piani, le perdite secondo il rapporto sarebbero il doppio di quelle della città americana.

2° caso. Attacco limitato a obiettivi industriali (raffinerie) e non alle città (80 « SS-18 » sovietici su 77 fra le più grandi raffinerie degli Stati Uniti e viceversa).

Negli Stati Uniti, se le bombe esplodessero in aria per avere più forza incendiaria, i morti sarebbero 5 milioni. L'economia americana del petrolio sarebbe distrutta e con essa i trasporti, l'agricoltura e l'allevamento meccanizzati ecc. ecc.

Nell'Unione Sovietica il numero delle vittime sarebbe molto minore perché le raffinerie in quel paese sono molto più lontane dalle città. Ci sarebbe poi una crisi molto minore nei trasporti pubblici, nell'agricoltura e nell'allevamento, molto meno dipendenti dal petrolio.

3° caso. Attacco limitato alle basi aeree e missilistiche e non alle città.

È la possibilità più presa in considerazione attualmente. In questo caso i missili dovrebbero esplodere a terra per distruggere i missili avversari nei loro sotterranei e produrrebbero enormi quantità di particelle radioattive che si solleverebbero in funghi radioattivi.

I funghi radioattivi si riverserebbero poi su tutto il paese allargando a dismisura con le loro piogge i danni alle persone, agli animali da allevamento, alla vegetazione, agli impianti.

I morti sarebbero da 2 a 22 milioni a seconda della stagione, dei venti e della possibilità di fuga nei rifugi prima dell'arrivo della nube. Gli effetti psicologici sulla gente sono imprevedi-

bili, ammette il rapporto, ricordando che le più vicine sofferenze dirette del popolo americano sono quelle della guerra di secessione nel decennio seguente il 1860.

Nell'**URSS** il numero di morti sarebbe inferiore perché le nuvole radioattive si sposterebbero verso grandi zone spopolate dell'Est. Sembra anche che i sovietici soffrano meno da shock da rifugio, dice il rapporto, ma che la loro agricoltura sia più vulnerabile di quella americana con un attacco di questo tipo.

4° caso. Attacco a obiettivi militari ed economici (città). E' il caso della guerra totale.

Un attacco con migliaia di atomiche sugli Stati Uniti pone la domanda se questi potrebbero mai riprendere la loro posizione di paese organizzato, industriale e potente.

Chi aiuterebbe i sopravvissuti? I morti potrebbero raggiungere i 155-165 milioni, in seguito a un attacco di sorpresa a terra. Un numero che va oltre l'immaginazione umana, per la quale i grandi numeri non significano assolutamente nulla. I duemila morti del disastro di Longarone allineati nelle loro bare sono il massimo immaginabile, un massimo da moltiplicare per 82.000, un altro numero non immaginabile, non reale per ciascuno di noi. Ed ecco il nome di megamorte. 155 o 165 megamorti.

E i feriti? Decine e decine di milioni di feriti si aggirerebbero per le strade facendo impallidire le peggiori pestilenze del passato. I superstiti si riverserebbero dai bordi delle aree colpite verso le campagne aggravando la situazione dei contadini alle prese con le ricadute delle nuvole radioattive. La lotta per il cibo e per il rifugio degenererebbe immediatamente in violenza.

E l'organizzazione pubblica? Dovrebbero stabilirsi nuove forme di produzione, nessuno verrebbe pagato in denaro per il lavoro compiuto, gli operai dovrebbero abitare vicinissimo alle fabbriche superstiti per l'assenza dei trasporti. E dove? E perché mai ricostruire le città? Perché continuare con la proprietà privata? Perché avere un governo centrale? Sarebbe lo

sfacelo di tutte le componenti strettamente interdipendenti che fanno funzionare una società moderna.

E, in più, la guerra nucleare totale priverebbe i paesi delle loro forze dirigenti, dei medici, dei tecnici specializzati, degli educatori, degli uomini d'affari, degli artisti, degli scienziati. Non c'è modo di misurare l'impatto di queste perdite sulla società. L'irreparabile perdita di geni e di talenti e la distruzione delle loro istituzioni potrebbe impedire la rinascita di un paese da una guerra di questo tipo.

Chi può calcolare il peso della perdita di centri di ricerca scientifica come il MIT di Boston, tanto per rifarci solo all'America, o della Clinica Mayo, o di un centro finanziario come Wall Street, o di una organizzazione culturale come il Metropolitan Museum?

I dati del rapporto americano non sembrano lasciare posto alla speranza, eppure, negli Stati Uniti e in molti altri paesi, qualcuno parla oggi della possibilità di sopravvivere alla guerra nucleare; e si incominciano a preparare, per esempio, le strutture necessarie a curare i feriti e i sopravvissuti. Ma come?

In caso di guerra totale ci sarebbero, soltanto negli Stati Uniti, circa 10 milioni di colpiti da radiazioni condannati a una morte lenta e 20 milioni di ustionati gravi.

Cosa si potrebbe mai fare per 20 milioni di ustionati gravi? Per farsene un'idea basta pensare alle cure che sono necessarie a un solo ustionato grave in uno dei nostri ospedali. Le innumerevoli trasfusioni di sangue esigono il reperimento di moltissimi litri di sangue donato. I trapianti di pelle dalle parti illese del corpo esigono équipes altamente specializzate. Se è necessario usare pelle artificiale bisogna trovarla. Se sono in vista blocchi renali bisogna continuamente assistere il malato e prevedere l'uso di reni artificiali. Un intero settore di un nostro ospedale in questi casi è mobilitato per una sola persona che malgrado tutti gli sforzi, se le bruciature sono estese, ha scarsa probabilità di sopravvivenza.

I posti letto per casi come questi sono negli Stati Uniti circa

2000 in 200 ospedali. A questo proposito è bene ricordare la difficoltà incontrata per curare contemporaneamente i 300 ustionati gravi del disastro aereo di Tenerife dopo uno scontro a terra fra due Jumbo di turisti. Se ci sono state difficoltà per 300 persone come si potrebbero curare contemporaneamente, o anche successivamente, 20 milioni di ustionati gravi, la popolazione di 7 città grandi come Roma?

E quali cure potrebbero ottenere i colpiti da radiazioni che sarebbero circa 10 milioni? I centri per la cura dei colpiti da radiazione per incidenti di laboratorio o di centrale nucleare sono circa 15 in tutti gli Stati Uniti. Anche in questo caso è bene ricordare le difficoltà incontrate per curare contemporaneamente alcuni tecnici di un reattore nucleare iugoslavo colpiti da radiazioni.

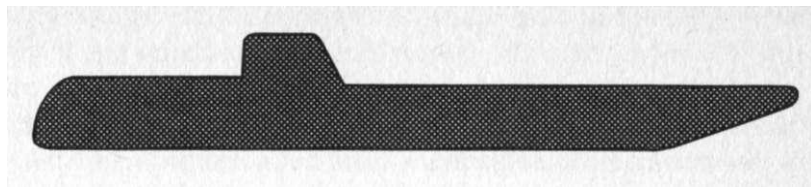
Questi sono dati relativi ai sopravvissuti. Altri analoghi sconsolanti dati si potrebbero trovare analizzando la situazione dei trasporti, dell'agricoltura, dell'allevamento, dei piani di evacuazione delle città ecc., dopo una guerra atomica. Sono dati che non hanno bisogno di altri commenti.

Il sottomarino che distrugge un continente

Naturalmente dobbiamo augurarci che niente di simile avvenga e che gli accordi di disarmo possano migliorare le cose.

Tuttavia, in un momento di grande ripresa dei movimenti pacifisti, è bene ricordare anche due cose molto importanti.

Per disarmare occorre fiducia reciproca: occorre cioè essere in due a farlo. Qualunque iniziativa pacifista che sia, in qualche modo, utilizzata per fini di parte compromette la nascita di un movimento corale che deve creare quelle premesse psicologiche utili per tener lontano un conflitto.

L'altra cosa da ricordare, purtroppo, è che a ognuna delle due superpotenze basta meno dell'1 % degli armamenti a disposizione per ridurre l'altra a un deserto radioattivo... Ciò significa quindi che, per eliminare il rischio nucleare, le due superpotenze dovrebbero disarmare a oltre il 99%. Basta

Un solo sottomarino può distruggere un continente. Può infatti lanciare 12 o 24 missili con dieci testate indipendenti, cioè 100-200 bombe atomiche su obiettivi diversi!...Questo dà l'idea delle difficoltà tecniche per un vero disarmo atomico.

pensare che certi sottomarini nucleari possono portare 12 missili, ognuno con dieci testate indipendenti: altri arriveranno fino a 24 missili con dieci testate indipendenti. Ciò equivale a dire che *un solo sottomarino* potrebbe lanciare cento o duecento bombe atomiche su altrettante città diverse. Cioè potrebbe distruggere un continente... (e gli Stati Uniti, da soli hanno una quarantina di sottomarini).

Teniamo a mente questi dati quando parliamo di pace atomica. Anche perché il problema, in prospettiva, non si pone soltanto per le grandi potenze: infatti oggi tecnicamente le bombe nucleari possano essere fabbricate da moltissimi altri paesi.

Qualche anno fa uno studente americano del terzo anno di chimica dimostrò di essere in grado di progettare una bomba simile a quella di Hiroshima: con 5 dollari si procurò gli studi tecnici ormai disponibili agli archivi del Congresso.

Il problema della proliferazione nucleare si collega naturalmente a un'altra preoccupazione: quella cioè che purtroppo viviamo in un mondo non molto pacifico, pieno di tensioni.

Si dice spesso che non abbiamo mai vissuto un così lungo periodo di pace: quasi quattro decenni di pace, dalla fine della guerra a oggi. Ma è proprio vero?

In realtà dal 1945 a oggi ci sono stati circa 200 conflitti, tra grandi e piccoli, con un numero strabiliante di morti: 25 milioni di morti.

Parliamo dunque un po' di questa strana pace, e anche delle prospettive tecniche di una possibile proliferazione delle armi nucleari.

Pace o guerra?

(di Lorenzo Pinna)

Una curiosa notizia è stata riportata qualche tempo fa su diversi quotidiani: un cittadino canadese, ossessionato dalla paura di una guerra mondiale nucleare, si era rifugiato, verso la metà degli anni '70, su un'isoletta vicina al Polo Sud, sicuro che lì sarebbe scampato all'olocausto atomico. Quell'isoletta faceva parte dell'arcipelago delle Falkland e lo sfortunato aspirante al ruolo di sopravvissuto alla catastrofe nucleare ha rischiato la pelle nell'imprevedibile guerra anglo-argentina.

La vicenda del cittadino canadese può riassumere in breve le caratteristiche del più lungo periodo di pace del nostro secolo: gli anni 1945-1982. Anni vissuti nella paura più o meno lontana di uno scontro nucleare e nella triste enumerazione di una serie interminabile di conflitti locali, come quello delle Falkland.

Se andiamo a controllare le macabre statistiche della guerra, ci accorgeremo che nemmeno un giorno di questi anni di pace è trascorso senza spargimento di sangue. Sono infatti scoppiati dalla fine della seconda guerra mondiale a oggi più di 200 conflitti, sono stati tentati con successo più di 150 colpi di stato e si è verificato un numero incalcolabile di incidenti minori.

Questa violenza ha provocato, in 37 anni, la morte di 25 milioni di persone e il ferimento di almeno 100 milioni, un numero di vittime paragonabile a quello di una guerra mondiale. Ogni 24 ore di questo periodo di pace, 1500 persone, in media, sono morte per azioni di guerra o per i danni e le devastazioni conseguenti.

L'istituto svedese per le ricerche sulla pace (il SIPRI), che ha sede a Stoccolma, ha elaborato alcune impressionanti statistiche.

Il commercio delle armi, in questi 37 anni, ha moltiplicato dodici volte il suo volume d'affari (e questo calcolo è al netto dell'inflazione).

E fra i più grandi produttori ed esportatori di armi l'Italia detiene il quinto posto nel mondo:

USA	45%
URSS	27%
Francia	10%
Gran Bretagna	5%
Italia	3%

È facile immaginare che i più di 200 conflitti sono stati combattuti con le armi acquistate in questo colossale commercio. Qual è il giro d'affari dell'industria della guerra? Sempre secondo il SIPRI il fatturato annuo agli inizi del decennio 1980 si aggirava intorno ai 100.000 miliardi di lire. E questa cifra, incomprensibile nella sua enormità, si riferisce soltanto al valore delle armi commerciate. Se si dovessero aggiungere i costi del personale militare o di armi non commerciabili come quelle atomiche, l'affare « guerra » supererebbe il mezzo milione di miliardi di lire annui.

Per rendersi conto di cosa significhino questi numeri con troppi zeri, basta pensare che secondo un progetto dell'UNESCO insegnare a leggere e a scrivere alla popolazione ancora analfabeta del Terzo Mondo costerebbe 5000 miliardi di lire. Cioè appena la centesima parte di quanto l'anno scorso è stato speso in tutto il mondo per le armi.

Ma nell'affare « guerra » bisogna anche inserire un altro aspetto, forse il più preoccupante. Giganteschi arsenali atomici e missili di infallibile precisione sono stati messi a punto dalle due superpotenze, USA e URSS. La capacità di distruzione di queste armi viene definita con molta esattezza da una parola inglese: « overkill ». Cioè queste armi possono distruggere l'intero pianeta non una, ma molte volte. E stato calcolato circa trecento volte. In pratica a ogni abitante della Terra spetta una razione di tre tonnellate e mezzo di esplosivo ad alto potenziale.

Paradossalmente l'esistenza di questa enorme capacità di distruzione ha contribuito a mantenere la pace. La certezza

infatti che un conflitto nucleare totale non lascerebbe né vincitori né vinti, ha finora reso impossibile questo scontro. Gli esperti hanno definito questa pace le cui fondamenta poggiano su potentissimi ordigni nucleari: l'equilibrio del terrore. Tuttavia il modello teorico dell'equilibrio del terrore prevede due sole superpotenze che si fronteggiano. Il moltiplicarsi di stati in grado di disporre di armi nucleari complica questo sistema in precario equilibrio, rendendo, se non altro matematicamente, più probabile un disastro.

L'apparizione sulla scena internazionale di stati del Terzo Mondo con un peso economico e quindi militare crescente rende più complesso e fragile il delicato meccanismo dell'equilibrio del terrore. Per molti di questi paesi un processo di indipendenza e di liberazione, un processo storicamente inevitabile e giusto, trova in alcuni casi il suo simbolo nella bomba atomica. Cioè la bomba prima ancora che come arma viene vista come segno di potenza e di esistenza dello stato nazionale. Invece del cartesiano « Penso dunque sono », un moderno « Ho la bomba dunque esisto ».

Naturalmente queste tendenze sono note, e sia le superpotenze sia gli organismi internazionali tentano di frenarle, per esempio con il trattato di non proliferazione nucleare. Ma è difficile impedire la costruzione di armi atomiche. Possiamo per esempio chiederci come siano riusciti il Pakistan o l'India, paesi con drammatici problemi di sviluppo economico e di sovrappopolazione, a costruirsi la bomba atomica, un'arma cioè che richiede complesse conoscenze tecniche, e grandi disponibilità finanziarie. Ufficialmente le vecchie potenze nucleari, USA, URSS, Francia, Gran Bretagna, Cina non hanno mai venduto o fornito tecnologie per la guerra atomica, né ordigni nucleari, né per questo fine hanno preparato personale straniero.

La grande diffusione della tecnologia nucleare è stata conseguenza, negli anni '70, del problema energetico. Molti paesi del Terzo Mondo hanno scelto la via nucleare per la produzione di energia, e hanno chiesto aiuti tecnici ai paesi industrializzati. Oggi in tutto il mondo più di 200 reattori nucleari sono

in funzione mentre altri 200 sono in costruzione. La tecnologia atomica per scopi pacifici è sostanzialmente diversa da quella per costruire la bomba. Ma alcune fasi della preparazione del combustibile, l'« arricchimento » dell'uranio, sono simili. Ed è proprio partendo da questi impianti che alcuni paesi sono stati in grado di costruirsi un ordigno nucleare. E naturalmente quando un paese riesce nell'impresa il vicino o i vicini tentano immediatamente di imitarlo. Si ripete in piccolo la corsa agli armamenti che ha portato le superpotenze all'attuale capacità distruttiva. Ma vediamo quali sono le nuove potenze nucleari e quali paesi si avvicinano pericolosamente alla soglia atomica.

Nel 1974 l'India, sfruttando tecnologia nucleare canadese, ha fatto esplodere un ordigno di prova. Inoltre questo paese

Geografia della bomba atomica.

sicuramente possiede il personale, le conoscenze e il materiale per produrne altre. La scelta di questa strada è una decisione solo politica. Per il Pakistan la corsa alla bomba è cominciata dopo il test atomico indiano. Una zona controllata dai militari, chiamata Kahuta, vicino alla capitale Islamabad, sarebbe il luogo dove avvengono le ricerche. Secondo gli esperti questo paese potrebbe arrivare al primo ordigno sperimentale in pochissimi anni. A Israele viene accreditato un arsenale di 20 bombe atomiche, e il luogo dove si è svolta la costruzione si troverebbe nel deserto del Negev.

Anche per il Sudafrica solo sospetti e poche prove. Sospetti per i grandi giacimenti di uranio, per il possesso dell'impianto di arricchimento di Valindaba. Sospetti per una serie di fotografie scattate da satelliti spia. Nell'agosto 1977 un satellite sovietico scopre nel deserto del Kalahari i primi lavori per la preparazione di un poligono atomico. Dopo le proteste i lavori vengono interrotti. Nel settembre 1979 un altro satellite, questa volta americano, fotografa un lampo nell'Atlantico meridionale. Un test nucleare sottomarino, pensano gli esperti. Ma ulteriori analisi delle foto non riescono a fornire una conferma definitiva. Un rapporto delle Nazioni Unite del 1980 ritiene tuttavia certa la capacità del Sudafrica di costruire bombe atomiche.

Il programma nucleare dell'Iraq è stato ritardato e forse bloccato da sabotaggi e incursioni israeliane e dalla guerra con l'Iran. Nell'aprile 1979, a Tolone, ignoti sabotatori distruggono alcune parti di un reattore che la Francia si apprestava a vendere all'Iraq. E sempre in Francia, a Parigi, nella primavera 1980 uno dei più importanti ingegneri nucleari iracheni viene colpito a morte da sconosciuti attentatori. Nel 1981 un raid aereo israeliano distrugge vicino a Baghdad il centro di ricerche nucleari dove si pensava venissero effettuati gli studi per la bomba. I sabotaggi e la guerra con l'Iran sembrano aver bloccato per molti anni i piani nucleari dell'Iraq.

Ma anche altre nazioni stanno preparando i mezzi per costruirsi la bomba. La Libia ha firmato contratti per l'acquisto di tecnologia nucleare con l'Unione Sovietica e all'imprevedi-

bile colonnello Gheddafi vengono attribuiti sogni atomici. In Sudamerica, l'Argentina e il Brasile dispongono di reattori nucleari e d'impianti per l'arricchimento del combustibile atomico. In pochi anni, dai 5 ai 10, potrebbero costruire la bomba.

In Asia, la Corea del Sud e Taiwan dispongono di impianti nucleari e si trovano in zone di tensione internazionale che potrebbe far nascere nei governanti l'idea della bomba. Tuttavia nella lista dei pretendenti alla bomba questi due paesi asiatici si trovano agli ultimi posti.

A più di 37 anni dall'inizio dell'era atomica, il club delle potenze nucleari si sta pericolosamente allargando. Anche se alcune nazioni, come l'Italia, aderendo al trattato di non proliferazione scartano la scelta atomica, pur avendo le capacità tecniche e finanziarie di costruire armi nucleari. Le previsioni tuttavia non sono rassicuranti. Per il 2000, temono gli esperti, la tecnologia nucleare sarà così diffusa che se non si giungerà a precisi accordi internazionali qualsiasi governo voglia costruirsi la bomba avrà i mezzi per farlo.

Verso nuove armi

Il mondo verso il quale ci stiamo incamminando non sarà, insomma, un mondo facile. Una serie di crescite hanno gonfiato le pressioni interne: aumento della popolazione, dei consumi di risorse e di cibo, aumento della richiesta di energia e di parità, aumento della tecnologia che ha amplificato la produzione e gli inquinamenti, le aspettative sociali e le possibilità di distruzione.

Naturalmente non possiamo sapere se in futuro le armi atomiche verranno usate oppure no. Noi tutti ci auguriamo, ovviamente, che ciò non avvenga: ma certo l'affacciarsi di un numero crescente di paesi all'orizzonte nucleare rappresenta una prospettiva più che inquietante.

Finché le armi atomiche rimanevano l'esclusività di grandi nazioni, con responsabilità mondiali, si poteva essere ragione-

volmente fiduciosi che il bottone rosso non sarebbe stato premuto molto facilmente da nessuno. Ma se anche leaders fanatici e intolleranti potranno disporre domani di queste armi micidiali (e magari in un qualsiasi conflitto minacceranno il ricorso alle bombe nucleari se le loro richieste non saranno soddisfatte) quali situazioni verranno a crearsi?

Non ci rimane che sperare che, così come è avvenuto dal 1945 a oggi, gli eventuali conflitti continuino a essere combattuti con le armi convenzionali: cioè che la paura dell'autodistruzione permetta di mantenere quel barlume di saggezza che, malgrado tutto, ha finora salvato l'umanità dall'olocausto nucleare.

Tuttavia non va dimenticato che anche nel settore degli armamenti non nucleari molte cose stanno avvenendo, e gli sviluppi tecnologici stanno trovando nuove e sorprendenti applicazioni. Non è un mistero, del resto, che nel corso della storia la tecnica e le armi si sono sempre influenzate a vicenda.

Disinnescare le motivazioni

Da questo breve viaggio all'interno della tecnologia militare (nucleare, e non) il panorama che ne esce è abbastanza desolante. L'efficienza nel costruire armi è aumentata a tal punto, negli ultimi decenni, che la prospettiva sembra ormai una sola: o saremo saggi o non saremo.

Gli appelli alla bontà, alla saggezza, alla pace sono sempre stati lanciati, nel corso dei secoli. Ciò non ha mai impedito guerre, forse per la buona ragione che le guerre sono dovute non tanto alla cattiveria o alla malvagità degli uomini quanto, il più delle volte, a situazioni storiche, economiche, sociopolitiche, che ne hanno determinato la dinamica interna.

Per riuscire quindi a disinnescare le armi, qualunque esse siano, bisogna soprattutto riuscire a disinnescare le *ragioni* dei conflitti e delle tensioni.

Non è una cosa facile, ma è la strada verso la quale bisogna dirigersi, tentando di orientare le scelte (e anche le tecnolo-

gie) in modo tale da aiutare questo processo di decompressione.

Uno dei problemi che in futuro sembrano direttamente collegati all'insorgere di gravi tensioni è il problema della competizione sulle fonti energetiche. L'aumento abnorme della popolazione e della richiesta di energia pone infatti il mondo di fronte a situazioni del tutto nuove, che richiedono tutta la nostra intelligenza e immaginazione per essere affrontate.

Vediamone rapidamente alcuni aspetti.

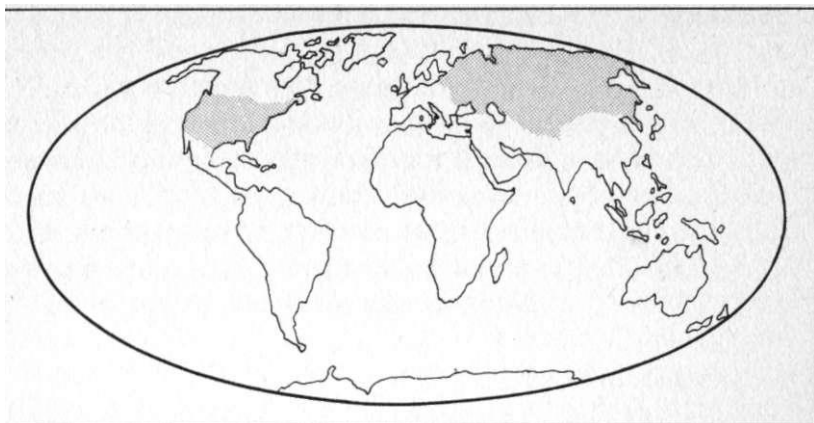
X • VERSO IL FUTURO

La mareggiata umana

Nei pochi minuti che vi saranno necessari per leggere le prossime pagine la popolazione mondiale sarà aumentata di circa duemila persone. Domani, a questa stessa ora, vi saranno 250.000 abitanti in più sulla Terra. Fra un paio di mesi la popolazione sarà aumentata di quasi 15 milioni, e fra un anno di oltre 80 milioni.

C'è un dato che rende ancor meglio l'idea di questa crescita abnorme: ogni tre anni (anzi meno) si aggiunge al nostro pianeta una popolazione pari a quella degli Stati Uniti o dell'Unione Sovietica. Ogni tre anni avremo l'equivalente di un USA in più o un URSS in più: e questo per i prossimi 50 anni...

Ormai nessuno sembra più in grado di fermare questo fenomeno, grazie anche all'imprevidenza dei nostri leaders di pensiero. Si prevede che i nostri figli (per i quali ci affanniamo tanto cercando di preparare loro un buon avvenire) nell'arco della loro vita dovranno far fronte a un diluvio di 4 miliardi di persone in più sulla Terra, che chiederanno cibo, case, energia, lavoro, istruzione, trasporti, abiti, ospedali, riscaldamento e... armi.

Si è scritto parecchio in passato sull'esplosione demografica, ma oggi si ha quasi l'impressione che abbiamo « rimosso » il problema: eppure il tic-tac dell'orologeria continua, anche se ci siamo tappati le orecchie per non sentirlo. Nei paesi industrializzati questa crescita si è quasi fermata e in certe nazioni sta addirittura cominciando a regredire (ne parleremo

Ogni tre anni (per i prossimi 50 anni) la popolazione mondiale aumenterà dell'equivalente degli abitanti degli Stati Uniti o dell'Unione Sovietica. E questi miliardi di nuovi abitanti vorranno tutti cibo, energia, lavoro, istruzione, ospedali e armi.

più avanti): ma nei paesi poveri la moltiplicazione cellulare continua. Che razza di mondo ne verrà fuori? Saremo capaci di far fronte ai bisogni crescenti di un'umanità in espansione oppure finiremo per avere un mondo diverso da quello che desideriamo?

L'onda di ritorno di questa mareggiata demografica si farà sentire ovunque, e sarà il motivo dominante di tutta la prossima generazione.

Un punto centrale sarà ovviamente quello dell'energia. È parere di molti esperti, oggi, che se avessimo energia in abbondanza e a basso prezzo gran parte dei problemi potrebbero essere semplificati (con l'energia si producono fertilizzanti per il cibo, si dissala l'acqua del mare, si possono far decollare le economie, si possono risolvere gli stessi problemi di inquinamento). Ma, come abbiamo visto, questa disponibilità di energia non esisterà per i prossimi 30-40 anni: cioè proprio per gli anni più duri, quelli della transizione.

Sarà una transizione difficilissima proprio perché il ponte tra le vecchie fonti (carbone, gas, petrolio) e le nuove fonti (solare, fusione) è troppo esile per sopportare il peso di tutti questi miliardi di « transitanti. » Che fare?

Esistono vari « scenari », cioè ipotesi di soluzione, messi a punto da studiosi di varia tendenza. Alcuni suggeriscono di puntellare il ponte con un gran numero di centrali nucleari a fissione; altri invece propongono uno scenario « dolce », con energie rinnovabili, decentramento e una vita più frugale; altri ancora un cocktail di vari elementi.

Il fatto è che, se volessimo continuare a vivere come viviamo oggi, la prospettiva sarebbe quella di un mondo popolato da diecimila reattori al plutonio!

Ma anche le tecnologie « dolci » si trovano di fronte a una sfida immensa, che difficilmente sarà possibile vincere senza un adeguato sviluppo culturale. Infatti riuscire a risolvere i bisogni crescenti di miliardi di individui con la linea « *soft* » significa disporre di un tale livello di intelligenza e di efficienza che in giro proprio non si vede. Le tecnologie dolci infatti sono un po' come la divulgazione: sono apparentemente semplici, ma richiedono molte più capacità e talenti, perché è più difficile essere facili...

La scelta dura e quella morbida

Del resto, un conto è parlare di queste cose con un articolo o in una tavola rotonda: un altro conto *è farle.* Se si guarda la realtà si ha l'impressione che il futuro del nostro pianeta viaggi su un doppio binario: quello delle cose teoricamente fattibili e quello delle realtà praticamente inamovibili. Cioè da un lato le nostre idee che corrono come gazzelle; dall'altro le nostre società che si muovono come pachidermi.

Di fatto noi, in realtà, non abbiamo operato alcuna scelta effettiva: né quella *hard,* con la moltiplicazione delle centrali nucleari, né quella *soft,* con lo sviluppo di energie alternative e di conservazione. Se alla prima scelta si oppone il timore della radioattività, alla seconda si oppone non soltanto la mancanza di volontà ma anche di talenti.

Ridurre i consumi energetici e riconvertire le fonti senza creare collassi economici è infatti un'operazione difficilissima,

perché un conto è disegnare uno « scenario » alla lavagna, altra cosa è calarlo nella realtà. Nei nostri sistemi energetici esiste uno « sfrido » dovuto a inefficienze endemiche che richiederebbero un grande impegno per essere eliminate, poiché la riduzione dello spreco richiede molta sapienza e addestramento.

Il problema è quindi quello di sapere se nel nostro pianeta avrà la meglio la crescita biologica o quella intellettuale; se cioè nella corsa tra la moltiplicazione delle cellule e quella delle idee sarà possibile pareggiare i conti, inserendo effettivamente più intelligenza nei sistemi umani.

Anche perché la sfida non riguarda soltanto le difficoltà interne delle nostre società (in particolare di quella italiana, priva di risorse naturali, di energia, di autosufficienza in cibo e con scarsa propensione alla ricerca): ma anche naturalmente i rapporti con i paesi poveri.

Secondo le previsioni il divario tra il Nord e il Sud del pianeta aumenterà ancor più (o si restringerà di poco); e non è arduo diagnosticare relazioni difficili in un mondo in cui il confronto tra chi ha e chi non ha sarà reso sempre più evidente dal diffondersi dei mezzi di comunicazione. E in cui la proliferazione delle armi nucleari potrà porre in modo nuovo problemi antichi.

Anche le politiche di aiuti si troveranno a fare i conti con due ordini di difficoltà: non solo la tendenza a essere meno generosi in epoche di crisi, ma anche la crescente difficoltà di trasferire ricchezze da una parte del mondo all'altra. Gli aiuti finanziari non bastano e non basteranno: con le sole banconote non si fabbricano fertilizzanti, kilowatt e capacità imprenditoriali. Occorrono competenze, tecnologie appropriate e anche invenzioni sociali.

Di fronte a questa prospettiva esiste quindi una sola speranza: lo sviluppo di nuove strategie di adattamento. Ce ne stiamo occupando? O anche solo preoccupando?

Diversamente da una pianta di pomodori, una società umana esprime la propria capacità di adattamento all'ambiente non solo attraverso i cromosomi, ma anche e soprattutto at-

traverso la sua flessibilità culturale. Essere uomini colti oggi significa, più che conoscere le opere di Leopardi o di Freud, capire il proprio tempo e intervenire su di esso per modificarlo.

Possiamo allora porci qualche domanda molto importante. Per esempio: in che modo si cerca di individuare i cambiamenti futuri che sono già impliciti nello sviluppo attuale? Dov'è il rinnovamento scolastico necessario a creare uomini capaci di gestire sistemi tecnologici sempre più complessi? Quale incentivo viene dato alla ricerca di soluzioni di adattamento? In quale misura gli intellettuali contribuiscono a sollevare questi problemi, rendendone partecipi gli altri uomini? In che modo influenzano, con cognizione di causa, gli orientamenti della scienza e della tecnologia? Come viene stimolata la preparazione dei nuovi dirigenti che dovranno gestire le crescenti crisi delle nostre società? In che modo l'opinione pubblica viene correttamente informata e coinvolta in questo processo di trasformazione?

La classifica delle preoccupazioni

Un recente sondaggio, apparso su un settimanale, elenca quali sono i problemi che preoccupano oggi gli italiani: ai primi posti figurano naturalmente l'inflazione, i problemi di disoccupazione, le pensioni, la casa ecc. L'ultimo posto è tenuto dall'energia; la ricerca tecnologica è addirittura fuori classifica. Detto in altre parole: è come lamentarsi dei cattivi raccolti senza preoccuparsi della semina.

Sappiamo che i problemi italiani hanno radici diverse e lontane: ma senza un lavoro in profondità sui meccanismi che producono ricchezze è ben difficile riuscire poi a ottenere in uscita quei beni e quel benessere ai quali tutti noi aspiriamo.

In quella classifica delle preoccupazioni, naturalmente, non appariva neppure il problema del raddoppio della popolazione mondiale. Mentalmente questo raddoppio rappresenta un Problema troppo lontano nello spazio e nel tempo.

Il fatto è che verrà.

Questa esplosione demografica, come dicevamo prima, riguarda soprattutto i paesi del cosiddetto Terzo Mondo, cioè l'emisfero Sud del nostro pianeta. Nell'emisfero Nord, quello in cui si trovano i grandi paesi industrializzati, si verifica invece un processo del tutto inverso: cioè si va verso una sempre più marcata diminuzione delle nascite rispetto alle morti.

Alcuni paesi hanno addirittura raggiunto quella che i tecnici chiamano la « demografia negativa », cioè una vera e propria diminuzione del numero degli abitanti (come le due Germanie, dell'Est e dell'Ovest).

Il mondo, in altre parole, si gonfia da una parte e si restringe dall'altra. Nelle società industriali, dove avviene questo fenomeno di stabilizzazione della popolazione, ovviamente la cosiddetta « piramide demografica » (cioè la struttura della popolazione per età) subirà delle profonde trasformazioni. Da un lato nascono meno bambini, e quindi diminuiscono i bisogni di attrezzature per la popolazione infantile, dall'altro aumentano le persone anziane (grazie ai progressi della medicina) e quindi sorgono dei problemi nuovi di tipo sociale, psicologico, economico ecc.

Qual è la situazione dell'Italia in questo contesto? Cerchiamo di vedere dove va la demografia non solo mondiale ma anche italiana, cercando di capire quali sono le motivazioni (e le conseguenze) dei vari comportamenti individuali e collettivi.

Lo sboom delle nascite

(di Giangi Poli)

La demografia, che è la scienza che studia le popolazioni secondo la loro composizione (per sesso, età, stato civile, professione) e secondo i fenomeni che la modificano (nascite, morti, matrimoni, migrazioni), ha registrato negli ultimi anni due avvenimenti importanti.

1) In India, che è un paese sovraffollato, i metodi introdotti

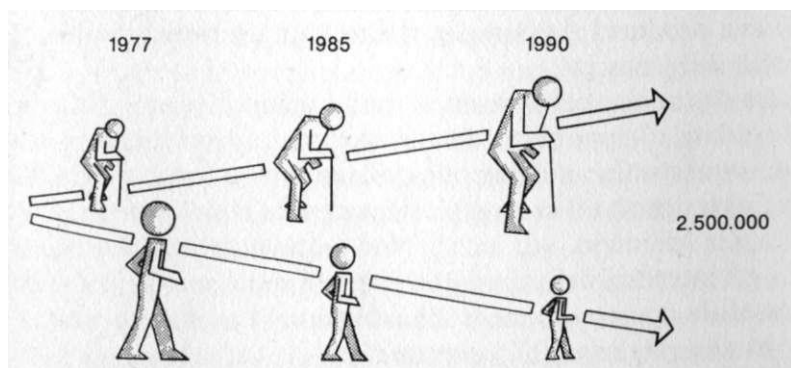
per controllare le nascite non hanno dato i risultati previsti I consigli a limitare il numero dei figli urtano contro la realtà della vita di ogni giorno nella quale gli stessi figli sono considerati, anche oggi, dei veri e propri « bastoni della vecchiaia ».

2) Alcune nazioni sviluppate, quali la Francia e la Romania, nelle quali si è verificato un fortissimo calo delle nascite, hanno introdotto i premi di natalità, spinte essenzialmente dalla preoccupazione di non poter produrre il capitale necessario all'assistenza del crescente numero di anziani.

E in Italia? Anche in Italia si nasce di meno, si invecchia di più. Nel 1977 i giovani fra gli 0 e i 14 anni erano 13.194.000; nel 1980 erano calati a 12.614.000 e si prevede per il 1990 una ulteriore riduzione a 11.988.000.

Nel 1977 gli anziani oltre i 60 anni erano 9.797.000, nel 1985 si prevede che il loro numero aumenti a 10.496.000 e nel 1990 a 11.085.000.

Nel 1990 ci saranno cioè 1.206.000 giovani, fra gli 0 e i 14 anni, in meno di quanti ce ne fossero nel 1977 e gli ultrasessantenni saranno invece 1.288.000 in più.

Nelle società sviluppate si sta passando da un mondo di bebé a un mondo di nonni? Per capire come si è arrivati a questa

Evoluzione della popolazione in Italia. Il numero degli anziani aumenta e quello dei giovani diminuisce: in 13 anni il saldo assommato delle due tendenze sarà di circa due milioni e mezzo.

inversione di tendenza bisogna fare un passo indietro e dare un'occhiata a che cosa succedeva, in questo campo, nei secoli scorsi.

Al contrario di quanto generalmente si pensa, la crescita della popolazione della Terra non è avvenuta in modo regolare dall'inizio della storia del genere umano fino a oggi, ma soltanto fino all'inizio di questo secolo. L'aumento, costante, è stato sempre molto ridotto. Le società contadine-artigiane esigevano famiglie molto numerose essenzialmente per 4 motivi:

- bilanciare l'altissima mortalità infantile;
- mantenere un numero sufficientemente alto di individui produttivi nell'organizzazione agricola, o artigianale, familiare (i morti per malattie e guerre erano molti, e molti erano gli assenti, assoldati in eserciti che conducevano guerre in zone lontane e per lunghi periodi);
- produrre un capitale sufficiente alla cura degli adulti colpiti da inabilità al lavoro per incidenti, malattie o ferite di guerra;
- assicurare una protezione agli adulti arrivati fortunosamente alla vecchiaia.

Secondo il demografo francese Sauvy quando il numero degli appartenenti a un determinato gruppo familiare superava certi limiti, fissati dalle risorse che quel determinato gruppo poteva produrre, la famiglia ricorreva a un rudimentale controllo delle nascite.

Lo stato, che necessitava di molta mano d'opera, di servi e di soldati, si opponeva, dice lo storico francese Leroy Ladurie, a questo tipo di controllo delle nascite e colpiva ogni pratica non riproduttiva e ogni attentato alla conservazione della famiglia (divorzio, ecc. ecc.). Non erano ammesse divergenze fra gli interessi della famiglia e quelli dello stato. Nei secoli passati la conservazione della istituzione familiare corrispondeva alle esigenze della comunità.

Il compito di riportare a livelli accettabili la popolazione era assunto dal binomio carestie-epidemie. Carestie ed epidemie compaiono insieme molto spesso. Esistono sorprendenti cor-

relazioni, secondo Sauvy, fra la curva delle fluttuazioni del prezzo del grano e quella del numero dei decessi.

Le carestie, oltre a uccidere direttamente, bloccavano in parte anche le nascite provocando delle malattie particolari alle donne e impedendo loro di diventare madri o di portare a termine le gravidanze. Il francese Goubert e l'americano C.A. Smith osservarono i disastrosi effetti delle privazioni della guerra del 1940 sull'ovulazione e sulla gestazione delle donne olandesi. Studi recenti americani hanno dimostrato che nei mammiferi una brusca diminuzione nel sistema alimentare, in poche parole la fame, porta gravi scompensi nell'ovulazione fino ad arrestarla. La fame durante le carestie aveva quindi un suo ruolo regolatore delle nascite indipendente dalla già altissima mortalità infantile.

Verso la fine del secolo scorso una serie di scoperte nel campo della medicina riduce drasticamente la mortalità infantile e la morte per malattie infettive epidemiche. Nello stesso tempo un'altra serie di innovazioni migliora le tecniche agricole. Queste conquiste, insieme a un generale sviluppo dell'economia e dell'istruzione, mettono relativamente al sicuro le popolazioni dell'Europa e dell'America del Nord dalle carestie e dalle epidemie.

Inizia così quella vertiginosa crescita della popolazione che è stato il più vistoso fenomeno in questa area per oltre mezzo secolo: la cosiddetta esplosione demografica.

Questo avviene anche nei paesi nei quali la colonizzazione, per esempio quella inglese in India e quella portoghese in Brasile, ha portato con sé le conquiste della medicina. Il fenomeno non si presenta invece nell'Africa equatoriale dove i fattori naturali di contenimento delle nascite funzionano come nel nostro Medio Evo.

Negli ultimi vent'anni nell'area europea e dell'America del Nord la situazione sta cambiando rapidamente. L'urbanizzazione, causata dalla industrializzazione, riduce il numero degli addetti alle campagne dove, a sua volta, la meccanizzazione riduce il bisogno di famiglie numerose. La crescente automatizzazione delle fabbriche contrae il bisogno di manodopera.

Gli adulti possono essere assistiti, nella malattia e nella vecchiaia, dallo stato. Nelle famiglie si sviluppa l'autoregolazione delle nascite, favorita anche dalla crescente istruzione e dalla conoscenza e disponibilità di nuovi metodi anticoncezionali.

Gli interessi della comunità coincidono con quelli della coppia che non viene più ostacolata nelle sue decisioni di limitazione delle nascite. Cambia il modello di famiglia che da numerosa diviene più ridotta.

E in Italia? Anche in Italia, come abbiamo visto, le nascite calano. Dal 1964 al 1979, per esempio, sono nati ben 347.000 bambini in meno, una città grossa come Venezia. Ma questa diminuzione non è uguale in tutte le regioni. In Italia vi sono fortissime differenze fra la situazione socioeconomica del Centro-Nord e quella del Sud, differenze che si riflettono direttamente sul calo delle nascite.

Si può dire che le condizioni delle società contadine del passato, che, come abbiamo visto, esigevano famiglie numerose, esistono tuttora in larghe zone del nostro Sud e che, invece, le condizioni tipiche dei paesi avanzati economicamente esistono nel nostro Nord. Nel Nord quindi una fortissima diminuzione delle nascite; nel Sud invece ancora moltissime famiglie numerose, anche se si notano sempre più segni dell'inversione di questa tendenza.

In molte parti d'Italia i figli non riescono a sostituire numericamente i genitori: si ha quindi un calo costante della popolazione. È il caso del Centro-Nord dove il numero delle morti supera largamente quello delle nascite e questo avviene in 6 regioni su 12, in 32 province su 61.

Nella provincia di Trieste nel 1977 ci sono state 2000 nascite contro 4300 morti, cioè più di 2 morti per ogni nascita. Nel Meridione la situazione è opposta e i nati sono il doppio dei morti. In queste ultime regioni l'aumento annuale della popolazione, anche se in rallentamento, è ancora tanto sostenuto da contribuire per il 90% all'aumento annuo di tutta la popolazione italiana. In provincia di Taranto circa un terzo della popolazione è formata da giovani, in provincia di Trieste circa un terzo della popolazione è formata da anziani.

Abbiamo visto che la tendenza alla diminuzione delle nascite registrata nelle famiglie coincide, in questo periodo storico, e nei paesi economicamente avanzati, con gli interessi della collettività che non vi si oppone e che anzi la favorisce. In Italia oltre ai fattori che conosciamo e che sono tipici delle società avanzate ci sono altri motivi che penalizzano fortemente le coppie con molti figli.

Basta ricordare quanto costi fare crescere un bambino, e quanto limitati siano gli assegni familiari che la comunità elargisce, è la parola adatta, alle famiglie. E non bisogna dimenticare la difficoltà crescente di trovare un alloggio, una difficoltà già grande anche per la coppia senza figli.

Vi sono in questo momento storico, ricorda il professor Antonio Golini che insegna demografia all'Università di Roma, anche altre motivazioni che concorrono a limitare il numero dei figli. Per esempio, il fatto che, in mancanza di adeguate strutture, i figli ostacolano fortemente il lavoro extradomestico della donna, lavoro al quale sempre meno si vuole, o si può, rinunciare.

Oppure il fatto che in molti casi i figli più che costituire il classico « bastone della vecchiaia » diventano un peso e fonte di gravi preoccupazioni. O il timore che i figli possano ostacolare, in una certa misura, l'uso del tempo libero. Nelle coppie che hanno già avuto un bambino esiste anche il timore che altri figli possano nascere handicappati, una situazione infelice il cui peso enorme ricade tutto e solo sui genitori. E infine, fatto ultimo, ma non per questo meno importante, c'è la paura che i figli possano trovarsi in una società più degradata e più difficilmente vivibile di quella attuale.

Sono tutte motivazioni importanti che però pensiamo abbiano un loro peso determinante proprio perché nella nostra società, come in tutte quelle avanzate e post-contadine, i figli non sono più una necessità assoluta, ma sono generalmente frutto di una libera decisione della coppia.

Il calo delle nascite comincia a influenzare la nostra economia. Ci sono già dei segnali. Molte industrie che producono articoli per bambini sono entrate in crisi e hanno dovuto ur-

gentemente differenziare i loro prodotti. Ma molte altre che invece producono articoli per anziani, per esempio le apparecchiature per vincere la sordità, esultano e si preparano al nuovo mercato per gli anziani, sempre più numerosi ed esigenti.

Il calo delle nascite ha dei vantaggi. Se è vero che mancherà al mercato una grande quantità di consumatori di ciucci, pannolini, biciclettine, e poi di automobili, camere da letto, seconde case ecc. ecc., è anche vero che tutta questa gente non andrà più nemmeno a scuola, non esigerà posti di lavoro, non occuperà posti letto negli ospedali. Scuole, ospedali, trasporti potranno così offrire servizi migliori e diversificati come già avviene a Trieste e in molte regioni del Centro-Nord.

La diminuzione delle nascite pone però anche dei problemi di programmazione che bisogna affrontare subito. Le case vanno costruite più piccole e bisogna superare certi assurdi divieti dei piani regolatori che impediscono o rendono difficilissimo ridurre un appartamento, diciamo, di 200 metri quadrati in 2 di 100 metri quadrati.

Gli insegnanti disoccupati vanno inseriti in altre attività educative a favore degli adulti e degli anziani, per esempio. Infine bisognerà trovare il modo di far pagare a qualcuno le pensioni per il sempre maggior numero di anziani, utilizzando magari più a lungo l'esperienza insostituibile degli anziani stessi, di questo gruppo di cittadini che avrà sempre maggior peso e determinerà sempre più spesso le decisioni politiche.

Il ruolo degli anziani

Si tratta, insomma, di cambiamenti tutt'altro che indifferenti, che incideranno su certe scelte economiche, politiche, sociali. E anche comportamentali.

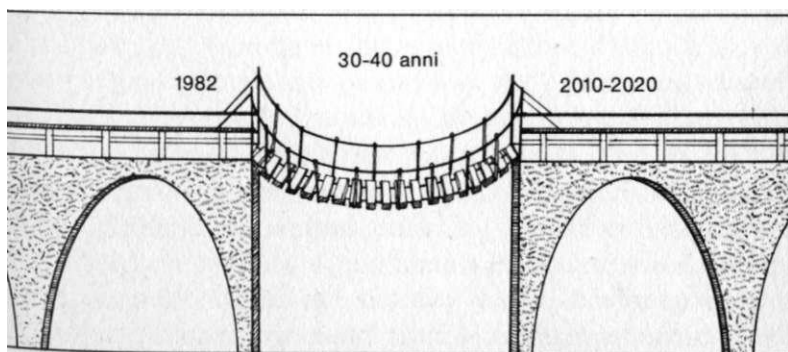
Sembra infatti poco probabile, come si accennava prima, che le persone anziane, sempre più numerose e in buona salute, accetteranno di sedersi su una panchina, con la loro pensione. E di non contare più niente.

Forse stiamo entrando in un mondo in cui il ruolo degli anziani sarà assai diverso da quello che è oggi. Ed è molto probabile che tutto l'interesse che è stato portato negli ultimi anni al mondo dei giovani si trasferisca gradualmente al mondo degli anziani.

Del resto i cambiamenti avvenuti nel mondo, grazie alla tecnologia, permettono oggi anche a una persona anziana di essere ancora efficiente fino a tarda età: a condizione che il suo cervello sia rimasto giovane.

Mentre in passato nella maggior parte dei casi occorreva un'efficienza fisica per poter lavorare oggi occorre soprattutto un'efficienza mentale. Non ha molta importanza se l'involucro invecchia, se i muscoli sono meno attivi: oggi anche un handicappato può sollevare un camion con un dito, manovrando un braccio meccanico.

È forse questo dell'efficienza mentale il problema più delicato: perché se dovessimo andare verso una gerontocrazia incapace di adattarsi ai cambiamenti delle idee e delle cose, chiusa nei suoi schemi generazionali, inadatta a inventare un nuovo futuro, non sarebbe certo un mondo allegro. Né pacifico.

Se riusciremo invece a superare con intelligenza i prossimi 30 o 40 anni, cioè se riusciremo a compiere questa transizione tra le attuali crisi e la nuova epoca di abbondanza di energia,

una transizione difficile ci aspetta per i prossimi 30-40 anni. Se riusciremo a superarla intelligentemente l'umanità può sperare in un buon futuro.

potremo sperare davvero in un buon futuro. Un futuro che migliorerà man mano che saremo in grado di gestirlo meglio.

La cosa infatti che più irrita, in tutta questa faccenda, è il fatto che potremmo avere un avvenire più che decente, se soltanto fossimo in grado di fare le scelte giuste e di comportarci intelligentemente.

Molti settori della tecnologia ci mostrano oggi « *trends* », cioè sviluppi, estremamente promettenti. E sembrano aprirci porte nuove per il futuro: non tanto per introdurci in un passeggero « mondo delle meraviglie » quanto perché le opportunità di sviluppo economico e tecnologico che portano con sé sembrano davvero di grande interesse.

Ed è forse giusto, alla conclusione di un libro come questo, affacciarsi su questa nuova dimensione tecnologica, per guardare al di là dell'orizzonte dei nostri guai attuali, cercando di vedere cosa si sta preparando.

Il campo delle tecnologie, ovviamente, è molto vasto. Ne abbiamo scelta una, come esempio, anche perché certi suoi sviluppi sono già in corso e perché le prospettive che apre a lunga scadenza possono davvero essere immense: lo spazio.

Quella notte del 21 luglio

Quando, la notte del 21 luglio 1969, milioni di persone videro per la prima volta un uomo posare il piede sulla Luna, sembrò l'inizio e la fine di una grande avventura. L'inizio perché, nell'euforia del momento, quel primo allunaggio apparve come la dimostrazione che l'uomo non conosceva ormai più frontiere, e che poteva permettersi di fare cose giudicate prima impossibili. La fine, perché ben presto ci si rese conto che dopo due o tre altri voli sulla Luna l'avvenimento non avrebbe fatto neppure più notizia: ci si sarebbe abituati anche a questo.

Ci si rese insomma conto dei limiti di questi programmi spaziali: essi potevano certo portare degli astronauti in orbita e farli atterrare sulla Luna, o magari su Marte, potevano permettere l'esplorazione di altri pianeti con sonde automatiche, capaci di fotografare da vicino la superficie e l'atmosfera, e di ritrasmettere a Terra una quantità di dati. Ma, francamente, ci si rendeva conto che passata la curiosità iniziale ciò avrebbe cambiato di ben poco la nostra vita, per non dire per niente.

Sapere qual è la temperatura di Venere o di Giove, o conoscere in dettaglio la composizione degli anelli di Saturno, poteva essere un'avventura eccitante per un astrofisico, come pure studiare l'origine del sistema solare attraverso l'esame delle pietre lunari, ma tutto ciò quali conseguenze pratiche poteva avere per il destino dall'umanità? Probabilmente ben poche.

In realtà pochi si resero conto del problema fondamentale che stava dietro a queste considerazioni: e cioè il fatto che il programma Apollo non era l'equivalente dell'aereo dei fratelli Wright, non era la macchina che poteva aprirci l'era spaziale. Era soltanto una mongolfiera, un grande pallone colorato che poteva alzarsi tra gli applausi di una folla sorpresa, per poi tornare inevitabilmente a posarsi. Senza un grande futuro.

L'aereo dei fratelli Wright è invece arrivato all'inizio degli anni '80: con la navetta spaziale, lo Shuttle. Con la navetta è cominciata infatti una rivoluzione silenziosa nello spazio, che potrebbe portare l'umanità verso un futuro completamente diverso. Perché?

Perché con la navetta, dopo la fase dell'esplorazione, è cominciata ora quella della penetrazione nello spazio. E cominciata cioè la fase in cui lo spazio può cominciare a essere utilizzato non tanto per delle imprese di prestigio, ma per dei business; può cominciare a essere utilizzato non per spendervi dei soldi del contribuente ma per trarne dei vantaggi economici. E quando si innesca un processo di colonizzazione economica di queste dimensioni, le prospettive che si aprono sono talmente vaste e sconcertanti da lasciarci senza fiato.

Vediamone alcune.

I primi passi

Le prime utilizzazioni dello spazio per dei fini pratici le conosciamo bene da tempo: sono rappresentate dai vari satelliti messi in orbita da russi e da americani, e poi da altri paesi, per le osservazioni più diverse: meteorologia, esplorazione geologica, controllo agricolo, spionaggio, telecomunicazioni. Basterebbe già questo primo, piccolo, elenco per mostrare la varietà di impieghi che lo spazio può avere e il suo impatto sulle economie terrestri. La possibilità di individuare dallo spazio nuove risorse minerarie, di controllare gli inquinamenti, di misurare la quantità di raccolti nel mondo, di prevedere con anticipo crescente le perturbazioni meteorologiche, di con-

sentire una crescente ragnatela di tele-comunicazioni che permettano collegamenti radio, televisivi, telefonici, telex (tutti abbinabili all'informatica e alle banche di dati), ebbene queste varie utilizzazioni danno già un'idea dell'importanza assunta dalle tecnologie spaziali nella nostra vita.

Ma qui ancora si potrebbe obiettare che si tratta di tecnologie che non aprono all'uomo le frontiere dello spazio: esse sono destinate piuttosto a migliorare la sua vita sulla Terra. In altre parole nessuno sarà stimolato a costruire una stazione spaziale o a progettare partenze fuori dal sistema solare solo perché il colonnello Bernacca potrà essere in grado di fare previsioni meteorologiche sempre più accurate, o perché è possibile vedere via satellite un numero crescente di partite di calcio.

Si direbbe insomma che le attuali tecnologie spaziali siano piuttosto fatte per trattenerci sulla Terra, anziché spingerci fuori nello spazio, alla conquista di un nuovo continente.

Con la navetta, invece, le cose potrebbero cambiare completamente. La vera rivoluzione consiste nel fatto che comincia a diventare economico andare nello spazio. Il prezzo è ancora molto alto (si calcola che il volo di una navetta costi intorno ai 40 miliardi di lire) ma l'attuale versione è solo un primo tentativo, al quale vari altri « modelli » seguiranno. È un po' come per l'aereo dei fratelli Wright: sarebbe stato impensabile utilizzare quel modello per trasportare convenientemente merci e passeggeri dalle due parti dell'Atlantico. Invece con i grandi « cargos » e con i vari transatlatici volanti per passeggeri, tutto ciò è diventato non solo una realtà ma una *routine.*

Già negli anni '90 si prevede sarà in linea un nuovo modello dello Shuttle, con prestazioni molto più flessibili e con un costo economico molto più competitivo. A partire da quel momento potrebbero aprirsi dei varchi nella conquista dello spazio che, per tappe successive, potrebbero portare a una vera e propria colonizzazione.

Vediamo come potrebbe essere la sequenza, tenendo a mente un concetto fondamentale. Tecnicamente le cose di cui

parleremo rientrano nella fattibilità (anzi, gran parte delle cose sarebbero già realizzabili con le conoscenze scientifiche e tecnologiche che attualmente possediamo); tuttavia la realizzazione pratica di tali progetti dipenderà dalla volontà politica, la quale a sua volta dipenderà in buona misura dalla convenienza economica (e in parte anche da ragioni di competitività internazionale, non esclusa quella militare).

Se dunque vi saranno sufficienti motivazioni per muoversi in questa direzione, ecco le tecniche che potranno essere messe a disposizione.

Verso l'energia

Con le navette della prossima generazione, e ancor più con quelle successive, si potrà cominciare a parlare di veri e propri camions di linea, capaci di portare in orbita grandi quantità di materiali. Per fare che cosa? Forse come prima cosa delle centrali elettriche.

La motivazione di ottenere energia, in un mondo sempre più assetato di elettricità, potrebbe costituire un notevole incentivo economico, tenuto conto anche del fatto che, una volta installata, una centrale elettrica spaziale funzionerebbe quasi gratis, dal momento che il carburante utilizzato per produrre energia sarebbe il Sole.

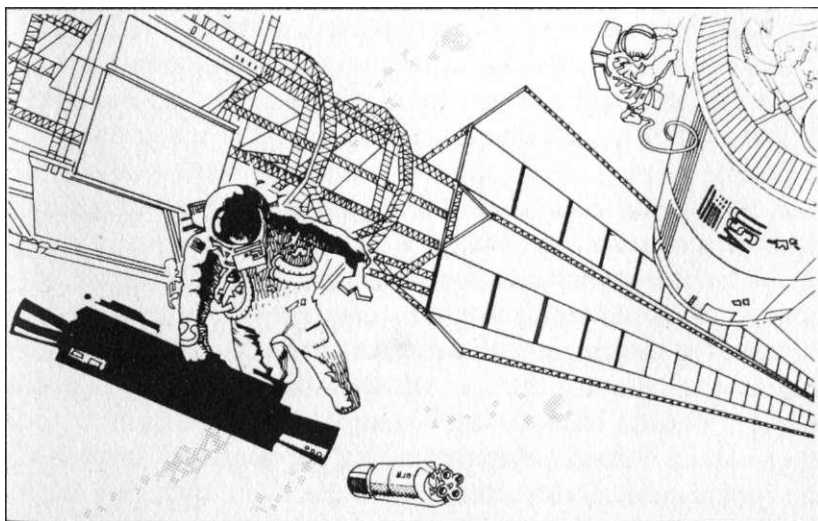
Esistono attualmente vari progetti di centrali elettriche spaziali. Sostanzialmente si tratta di immensi pannelli (per esempio di 11 chilometri per 4 e mezzo) costituiti da cellule fotovoltaiche, che raccoglierebbero l'energia solare a grandi altezze (36.000 chilometri, in un'orbita « geo-stazionaria », cioè sincrona a quella terrestre, in modo da apparire fissa nel cielo).

In base ai progetti attualmente allo studio una centrale di questo tipo potrebbe fornire una quantità di energia elettrica molte volte superiore a quella di una centrale nucleare convenzionale. La costruzione potrebbe essere sufficientemente rapida (un cantiere potrebbe costruire 2 centrali solari l'an-

no), poiché le lavorazioni spaziali sono relativamente facili in assenza di gravità: strutture molto esili, infatti, possono bastare a tenere insieme pannelli di grandi dimensioni. Detto in termini un po' immaginativi sarebbe come stendere nello spazio un'immensa carta da cioccolatini.

Che questi progetti siano una cosa seria e realizzabile lo dimostra l'interesse che i « big » dell'industria spaziale hanno mostrato per l'impresa. Infatti, ai due più grossi progetti partecipano compagnie come la Grumman (costruttrice del famoso **LEM**, il modulo lunare), la Boeing, la General Electric, la Rockwell (costruttrice del razzo Saturno).

Restano da completare gli studi su eventuali problemi ecologici (si tratterebbe di elettricità inviata direttamente dallo spazio come micro-onde, grazie a un raggio molto preciso, che sarebbe captato da una stazione a Terra), in particolare per eventuali danni dovuti all'attraversamento degli strati superiori dell'atmosfera. Gli ingegneri che se ne occupano si mostrano ottimisti.

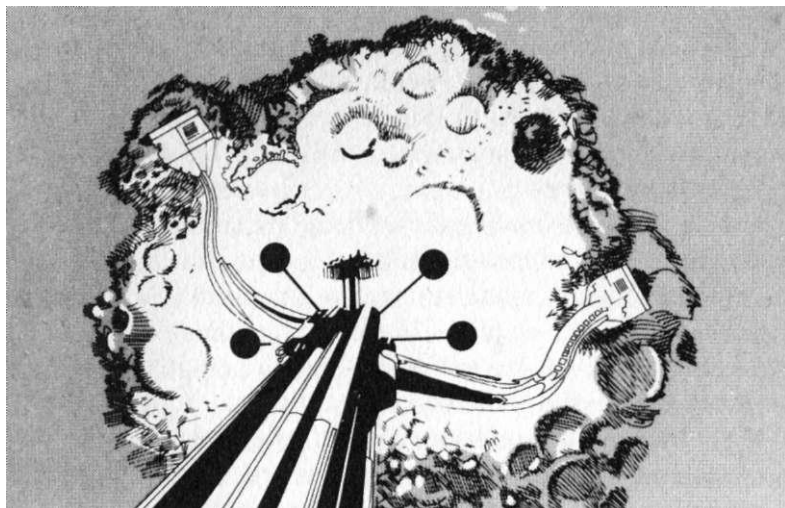
Se si risolveranno questi problemi ecologici si porrà comun-

Costruire nello spazio strutture anche molto grandi non presenta particolari difficoltà. In assenza di gravità non esistono i problemi di carico: un pianoforte a coda potrebbe essere sorretto da un semplice foglio d'alluminio...

que una difficoltà: le navette spaziali non potranno compiere un numero troppo grande di viaggi senza inquinare a loro volta gli strati superiori dell'atmosfera (si calcola che per costruire una sola centrale elettrica nello spazio occorrano circa 400 viaggi). In tal caso la soluzione prospettata è quella di portare in orbita soltanto certe parti più lavorate: il resto (circa il 90% in peso) potrebbe essere costruito direttamente nello spazio utilizzando la superficie lunare come miniera. Esiste già, all'Università di Princeton, un acceleratore (che potrebbe funzionare a energia solare) capace di « sparare » nello spazio dei pacchetti di minerale, lanciandoli come palle da base-ball verso una fabbrica orbitante.

E i costi? Gli autori del progetto assicurano che sarebbero largamente competitivi rispetto alle altre fonti energetiche terrestri.

Se un tale progetto (tecnicamente fattibile già a cavallo dell'anno 2000) dovesse essere realizzato, costituirebbe il primo vero passo per la colonizzazione dello spazio. Infatti in tal modo comincerebbero a salire in orbita tecnici, operai, ingegneri: centinaia di persone per ogni piattaforma in costruzione. Essi abiterebbero per lunghi periodi nello spazio (le attuali prove di resistenza degli astronauti tendono appunto a verificare l'adattabilità e la resistenza del corpo umano a soggiorni prolungati, in assenza di gravità).

Queste prime colonie spaziali comincerebbero a essere dotate di maggiori *comforts:* senza spese proibitive infatti si potrebbero costruire dei confortevoli *containers* in cui gli abitanti troverebbero non solo cibo e alloggio, ma anche cure e svaghi. Qualcosa di simile a quei « campi » che le grandi ditte europee di costruzioni allestiscono, per esempio, per i loro operai che lavorano nei deserti dell'Arabia Saudita o dello Yemen. Questo modello dei « campi », anzi, prefigura un po' quello della colonia spaziale: alti salari, soggiorni prolungati ma lunghi periodi di vacanze, cibo di ottima qualità e tutti i *comforts.* Lavoro duro, in sostanza, ma ben pagato e possibilità persino di farsi raggiungere dalla famiglia.

Se ciò avvenisse anche nello spazio nascerebbero così i pri-

Le materie prime per la costruzione di grandi stazioni spaziali potrebbero essere trovate direttamente nello spazio. Sulla Luna o anche sugli asteroidi.

mi insediamenti umani, sia pure limitati e provvisori. Ma fornirebbero un'indicazione della possibilità (e dell'interesse) di continuare su questa strada. E poi?

La gravità artificiale

E poi si potrebbe pensare, in modo più approfondito, al passo successivo, quello fondamentale: creare una gravità artificiale nello spazio. È opinione di tutti coloro che si occupano di questi problemi che occorrerà dotare le future grandi stazioni spaziali di una gravità artificiale, per permettere una vita più simile a quella terrestre.

Il problema, in teoria, è molto semplice. Basta pensare a una grande stazione spaziale a forma di ruota di bicicletta, in cui la parte abitabile sarebbe rappresentata dal « pneumatico ». Dandogli una spinta di rotazione (in assenza di attrito nello spazio la stazione ruoterebbe senza neppure bisogno di energia) si creerebbe un effetto centrifugo in periferia, cioè

appunto nella zona del pneumatico, dando la sensazione di una gravità.

Naturalmente questa gravità artificiale sarebbe tanto più forte quanto più in fretta gira la ruota, così come avviene in quelle giostre « rotor » in cui le persone vengono « schiacciate » contro le pareti.

Per ovviare agli inconvenienti fisiologici della rotazione (capogiro) basterebbe creare strutture sempre più grandi, in modo che potrebbe magari bastare un giro ogni quarto d'ora, o mezz'ora. O anche di più. Ciò dipenderebbe dalle dimensioni della stazione e anche dal « livello » di gravità che si vuole ottenere (metà di quella terrestre, un terzo, un decimo ecc.).

Il problema, naturalmente, è che più aumenta il livello di gravità desiderata, più deve aumentare la resistenza delle strutture che sorreggono questo « peso » artificiale. E così più aumenta il costo.

In altre parole se in assenza di gravità basta un sottile pavimento a reggere un individuo o un macchinario, man mano che la gravità aumenta occorre un pavimento sempre più solido, e quindi delle strutture generali sempre più resistenti e massicce.

Non sono problemi irrisolvibili sulla carta: è una questione di rapporto costo-benefici. Se questo rapporto costo-benefici diventerà tale da incentivare imprese del genere, la tecnologia spaziale ha già in cantiere (per ora solo nell'immaginazione) progetti da fantascienza. Stazioni spaziali capaci di ospitare milioni di persone, con boschi, laghi, case e ... anche nuvole sopra la testa. Uno di questi progetti è infatti un tubo rotante lungo 26 chilometri e alto 6 chilometri: al centro si formerebbero vere e proprie nubi (quelle sopra la nostra testa sono intorno ai 1500 metri), e la gente vivrebbe come in una vallata svizzera (persino con mucche e agricoltura di prim'ordine, senza parassiti e senza anti-parassitari).

Ma chi ci andrebbe? Forse la stessa gente che va oggi a costruire strade nello Yemen o in Arabia Saudita. Per le stesse ragioni. Più tardi altri, motivati forse da altre ragioni.

Riprenderemo tra poco questo discorso, ascoltando cosa

pensa Isaac Asimov di queste prospettive. Ma per avere un quadro completo vediamo prima quali tipi di vantaggi consentirebbe la colonizzazione dello spazio, oltre alla costruzione di centrali elettriche solari.

Una delle idee, infatti, è che lo spazio presenta talmente tante situazioni « anomale » rispetto alla Terra, da costituire un campo del tutto nuovo per le lavorazioni industriali. Nello spazio non solo c'è energia solare gratuita, ma ci sono basse temperature gratuite, non esiste pulviscolo atmosferico e, soprattutto, non esiste la gravità.

Come è noto, molti voli dello Shuttle sono già stati prenotati da industrie americane che desiderano provare a fabbricare certi prodotti nello spazio. È interessante approfondire un po' più il discorso, perché osservando da vicino cosa si può veramente fare nello spazio ci si rende conto che l'interesse economico per costruire delle fabbriche spaziali è tutt'altro che trascurabile.

I progetti che sono qui elencati sono entrati già in fase di progressiva realizzazione: fanno parte del programma sperimentale dei primi 40 voli della navetta, quindi si tratta di progetti che saranno concretamente realizzati nel giro di breve tempo. Vediamoli.

Le prime fabbriche nello spazio

Cominciamo con le industrie farmaceutiche e mediche. Sappiamo che con il progressivo invecchiamento delle popolazioni ricche, dovuto alla loro demografia negativa, ci saranno sempre più incentivi economici per trovare rimedi e « pezzi di ricambio » al fine di combattere il progressivo decadimento della macchina umana.

Uno degli esperimenti spaziali ora in via di realizzazione riguarda, per esempio, la cura della trombosi (che solo negli Stati Uniti provoca la morte, ogni anno, di 50.000 persone). Questa improvvisa ostruzione delle arterie da parte di un coagulo di sangue può essere efficacemente combattuta con un farmaco, l'urokinase, che scioglie i coaguli ed è estremamente

efficace contro gli attacchi cardiaci e le embolie. Attualmente però è un farmaco rarissimo e costosissimo, poiché occorrono 1500 litri di orina umana per produrre una sola dose. Per far fronte alla richiesta occorrerebbe, solo negli Stati Uniti, raccogliere e lavorare 750 milioni di litri d'orina l'anno.

Lo spazio invece consentirebbe di fabbricare convenientemente questo farmaco. Si è infatti scoperto che l'urokinase può essere ottenuto da cellule renali umane messe in coltura: il guaio è che solo il 5% di queste cellule producono questa sostanza, e la difficoltà consiste nel separarle dalle altre. Questa separazione è praticamente impossibile sulla Terra, ma nello spazio potrebbe essere realizzata grazie all'assenza di gravità. Perché?

Si sa da tempo che se si mette una soluzione contenente delle particelle organiche in un campo elettrico, queste particelle, a seconda della loro carica elettrica naturale, saranno attratte dal polo positivo o dal polo negativo, si separeranno e potranno essere raccolte.

Teoricamente la stessa cosa potrebbe essere fatta con delle cellule: ma la gravità è più forte dell'attrazione elettrica, e le cellule cadono sul fondo del recipiente molto prima che si riesca a ottenere la separazione. Ecco quindi l'interesse della lavorazione nello spazio: in assenza di gravità le cellule possono essere separate, poi portate a Terra e messe in coltura, per ottenere il farmaco a volontà.

Ma questo è solo un esempio. Esistono centinaia di sostanze, enzimi, ormoni, proteine e cellule dell'organismo che possono essere ottenute nello spazio, per curare molte malattie. Basta citarne tre: l'emofilia, l'anemia e il diabete. In tutti questi casi l'assenza di gravità consente la separazione di sostanze coagulanti, di enzimi e di cellule da trapianto che avrebbero grandi applicazioni terapeutiche.

Queste possibilità di produrre in modo del tutto nuovo grazie all'assenza di gravità si applica del resto ai campi più diversi. Per esempio alla costruzione di arterie o valvole cardiache artificiali. Oggi c'è infatti tendenza a sostituire la plastica con un materiale organico, il collagene: è una proteina naturale

che costituisce una struttura di base dei tendini, dei nervi, della pelle, delle ossa, delle vene e delle arterie.

Il processo di fabbricazione, attualmente, consiste nel purificare il collagene (ottenuto, per esempio, dalla pelle di un animale) e metterlo in stampi a forma di arteria o di valvola cardiaca: le molecole del collagene, grazie a un processo di rigenerazione, si ricompongono in fibre, esattamente come prima. Il problema è che a causa della forza di gravità queste fibre tendono ad ammassarsi verso le zone basse, rendendo il materiale non omogeneo e quindi poco elastico, più fragile. In orbita questo problema sarebbe risolto, ottenendo un prodotto rivoluzionario, perfettamente omogeneo (e quindi in grado di salvare moltissime vite umane).

Anche qui si possono fare un po' di conti, e vedere subito l'interesse economico di una piccola industria spaziale che fabbrichi questo collagene per la chirurgia. Qualche esempio: ogni anno si effettuano 150.000 trapianti di arterie artificiali, con un mercato di oltre 50 miliardi. Per le valvole cardiache il mercato attuale è di oltre 60 miliardi. Un altro campo di applicazione, ancora più vasto, è quello delle lenti a contatto: attualmente il fatturato si aggira sui 400 miliardi.

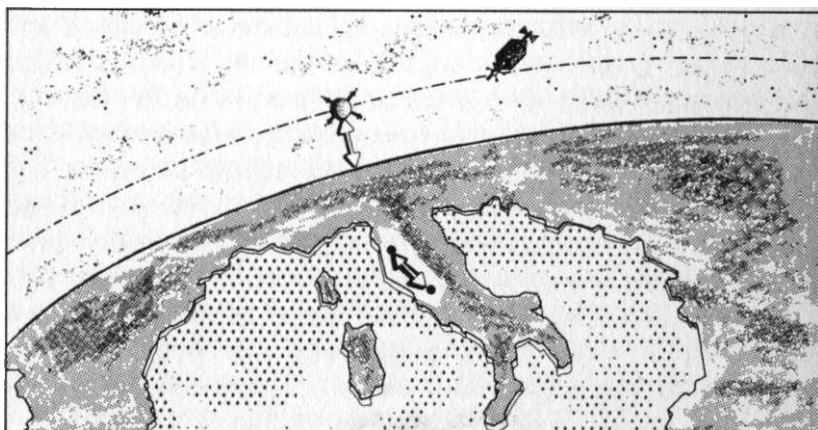
Al di fuori del campo medico-chirurgico vi sono innumerevoli altre applicazioni. Basta pensare, per esempio, che la gravità influenza la crescita dei cristalli artificiali (utilizzati nei microcircuiti e nelle cellule solari), le leghe metalliche e anche la costruzione delle lenti ottiche. La possibilità di costruire cristalli perfetti non riguarda solo l'industria fotografica o televisiva, ma può consentire enormi vantaggi di altro tipo: basta pensare alle apparecchiature poste a bordo di satelliti per l'individuazione delle risorse terrestri, per l'osservazione delle colture agricole o degli inquinamenti. E basta pensare che chi avrà questi cristalli sempre più puri potrà meglio fotografare dallo spazio le altrui basi missilistiche, gli aeroporti, le colonne in movimento, gli impianti militari. L'incentivo per creare un'industria spaziale di questo tipo non mancherà certo...

Per quanto riguarda le leghe metalliche l'assenza di gravità consentirà delle lavorazioni di una omogeneità impensabile

sulla Terra: e sono già state individuate 450 leghe che potrebbero essere costruite, con grande vantaggio tecnologico, nello spazio.

Una questione di convenienza

Tutte queste cose, ripetiamo, sono progetti a brevissima scadenza, molti dei quali realizzabili nell'arco di qualche anno. Naturalmente si è ancora in una fase sperimentale: impiantare una fabbrica nello spazio è una cosa totalmente nuova, e occorre verificare una serie di punti ancora poco chiari che riguardano i costi e i benefici. Ma c'è in giro un diffuso ottimismo, al punto che qualcuno comincia a chiedersi se questi trasporti spaziali rimarranno sempre di sola competenza della NASA o se, prima o poi, certe compagnie private non cominceranno a inviare nello spazio le proprie stazioni spaziali, con i propri cosmonauti.

Qualcuno comincia a pensare che per esempio i grandi gruppi finanziari che controllano le linee aeree potrebbero un giorno trovare interessante costituire delle flotte commerciali

Lo spazio è vicino. Le attuali stazioni spaziali distano dalla Terra meno della distanza tra Roma e Firenze.

per allargare le loro linee verso lo spazio. Anche perché non bisogna dimenticare un dato significativo: lo spazio ci sembra molto lontano, ma in realtà è vicinissimo. Per esempio le orbite di tutti gli attuali veicoli, stazioni spaziali e satelliti artificiali (tranne quelli geo-stazionari di telecomunicazione) sono a un'altezza di soli 160-250 km. Cioè meno della distanza tra Roma e Firenze...

È una distanza irraggiungibile economicamente? Non sembra davvero.

Naturalmente noi non possiamo conoscere, e tantomeno prevedere, la scala dei tempi di quello che potrà essere lo sviluppo spaziale. Nessuno può dire quanto in fretta (o quanto lentamente) si continuerà su questa strada.

Come abbiamo detto all'inizio ciò dipenderà, in larga misura, dalle motivazioni economiche, politiche, e anche militari. Dal punto di vista tecnologico, però, siamo già praticamente pronti per questa nuova avventura umana.

Possiamo allora a questo punto porci una domanda: questo grande spazio che si sta aprendo intorno a noi, possiamo considerarlo come un nuovo oceano sul quale abbiamo cominciato a navigare con le prime barchette, ma che pian piano finiremo per colonizzare, per trarne tutti i vantaggi che ci offre? O questa è una visione ancora prematura?

Se guardiamo indietro, nella nostra storia lontana, ci rendiamo conto della rapidità con la quale stanno oggi procedendo i cambiamenti. Due milioni di anni fa un nostro lontano progenitore costruì il primo strumento in pietra; per centinaia di migliaia di anni abbiamo conosciuto soltanto le foreste e le savane, le caverne e le capanne. Soltanto le ultime generazioni hanno conosciuto la macchina a vapore, l'elettricità, la radio, e solo l'ultima, la nostra, ha conosciuto lo spazio.

Dopo esserci diffusi ovunque nel nostro pianeta, esplorando continenti e oceani, strisciando nella dimensione orizzontale della Terra, stiamo forse ora scoprendo una nuova dimensione: quella verticale.

Un nuovo mondo in cui alcuni, come Isaac Asimov, ritengono che inevitabilmente finiremo per espanderci.

A questo punto, dobbiamo chiarire che specialmente col discorso che seguirà usciamo dalla scienza per entrare in un puro esercizio di immaginazione. Cioè usciamo dal reale per entrare nel possibile.

Ma è un esercizio di immaginazione molto utile e stimolante, poiché consente di spingere lo sguardo verso prospettive lontane. E l'uomo ha avuto sempre questo desiderio di guardare oltre la siepe. Isaac Asimov, scienziato e intelligente scrittore di fantascienza, ritiene che l'umanità finirà certamente per estendere i suoi confini nello spazio. Ascoltiamolo.

« Sì, penso di sì. Abbiamo riempito la Terra e ora dobbiamo spingerci oltre, estendere i nostri confini. Così come fece l'Europa cinquecento anni fa, raggiungendo il nuovo mondo, ora la Terra deve fare altrettanto, raggiungendo lo spazio che ci circonda per utilizzare le sue risorse, la sua vastità, le sue possibilità. Non possiamo restare sulla Terra senza che la nostra civiltà appassisca. »

— E come vede questo futuro nello spazio?

« Lo vedo come una opportunità. Possiamo creare centrali elettriche per lo sfruttamento dell'energia solare, possiamo creare fabbriche nello spazio per sfruttare le sue speciali caratteristiche. Lo spazio è milioni di volte più grande della superficie terrestre, può assorbire senza danni livelli di inquinamento milioni di volte superiori. Non solo, ma c'è anche il vento solare che spazza via l'inquinamento una volta che si è formato. Questa è in un certo senso la risposta a molti nostri problemi: energia, materie prime, inquinamento. E in una certa misura anche al problema della popolazione. L'umanità deve andare oltre, non possiamo più essere come bambini intrappolati nella culla della Terra, ma dobbiamo diventare adulti; capaci di andare, se lo vogliamo, in qualunque posto dello spazio. »

— Ci sono progetti di grandi stazioni spaziali orbitanti che secondo uno studio della NASA sarebbero già costruibili con le tecnologie che conosciamo, stazioni lunghe decine di chilome-

tri, capaci di ospitare addirittura milioni di persone. Ma non vi sarebbero problemi di adattamento biologico?

« In realtà la grossa difficoltà è la questione della gravità: tutto il resto possiamo ricrearlo. Andando nello spazio non saremmo nel vuoto, ma vivremmo all'interno di un'atmosfera simile a quella della Terra, e se la stazione spaziale è sufficientemente grande, i suoni, la luce, l'energia saranno simili a quelli della Terra. Se non è possibile riprodurre una gravità di tipo terrestre, tuttavia possiamo far ruotare le stazioni spaziali di modo che l'effetto centrifugo ci spinga verso l'esterno, contro le pareti, creando così una gravità artificiale; questo accorgimento può probabilmente sostituire la gravità, almeno da un punto di vista fisiologico. Immagino che è una cosa a cui dovremmo abituarci. Del resto il giorno in cui cominceranno a nascere dei bambini nelle stazioni spaziali, probabilmente questo adattamento avverrà spontaneamente. »

— Quindi questi bambini nati lassù potrebbero non più essere adatti a vivere sulla Terra? Perché i loro corpi sarebbero troppo fragili per la nostra gravità, e quindi dovrebbero continuare a vivere nello spazio?

« Be', coloro che vivono nello spazio potrebbero non avere alcun desiderio di tornare sulla Terra. Immagino che vi farebbero ritorno in piccole navicelle spaziali di vetro per dare uno sguardo al panorama e poi tornarsene a casa. »

— Ma la Terra continuerà naturalmente a essere abitata?

« Sì, la Terra potrebbe essere un mondo pastorale, ricco di foreste, di prati, con una ecologia assai più complessa di quella di qualsiasi mondo artificiale. Sarebbe una specie di Arcadia, dove vivrebbero anche molte persone. Tuttavia la Terra, penso, non sarà più la frontiera dell'umanità, cioè il posto in cui verrà deciso il destino dell'uomo. »

Tra un milione di anni

— Ma questi progetti di stazioni spaziali non sono un po' utopistici, soprattutto per i costi che comporterebbero?

« Non credo che i costi siano proibitivi; una volta avviato il programma ritengo che le stazioni spaziali si riveleranno più economiche di quanto si pensi, anche perché probabilmente dalla Luna potremmo estrarre tutti i materiali necessari, tranne tre elementi leggeri; cioè carbonio, idrogeno e azoto. Io penso che se prendiamo la decisione di farlo, nel prossimo secolo avremo colonie spaziali. Non ci sono problemi tecnologici. »

— E se volessimo spingere lo sguardo più in là, in un avvenire più lontano, come si può prefigurare l'evoluzione umana? Lei ha un'idea di come potranno essere tra mille anni o tra un milione di anni gli uomini?

« Se vogliamo spingere il nostro sguardo mille anni più avanti, credo che i cambiamenti che conosceremo saranno probabilmente mille volte più stupefacenti di quelli che hanno avuto luogo negli ultimi mille anni.

« Ho la sensazione che tra mille anni la specie umana avrà già varcato i confini del sistema solare, e che ci saranno mondi indipendenti che si muoveranno da soli nello spazio. Potranno esservi milioni di questi mondi, e su ognuno di essi sorgerà una cultura particolare con una diversa musica, letteratura, scienza.

« Continuando a evolvere separatamente, con l'andare del tempo è anche possibile che si sviluppino specie umane diverse, incapaci persino di incrociarsi tra loro. Quindi potrebbero nascere migliaia di diverse specie di discendenti intelligenti dell'Homo *sapiens.*

« Sarà un universo in cui sarà eccitante vivere, in cui sarà possibile incontrarsi con i propri lontani cugini; e forse sarà anche possibile entrare in contatto a quel tempo con altre intelligenze non umane esistenti su altri mondi.

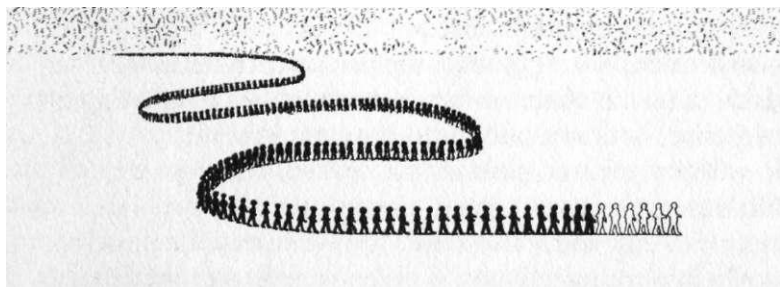
« Ritengo però che sia molto difficile immaginare un futuro lontano, perché a un certo punto i progressi scientifici diventano per noi completamente incomprensibili, così come gli uomini del Medio Evo non avrebbero potuto prevedere il tipo di tecnologie che noi stiamo ora sviluppando. »

— In ogni caso lei ha l'impressione che i nostri futuri svi-

luppi tecnologici saranno molto condizionati e orientati da questa nuova dimensione spaziale?

« Sì, questa è la mia sensazione, per qualsiasi aspetto della tecnologia si voglia considerare. Se desideriamo spingere il progresso al di là delle attuali frontiere, è necessario andare nello spazio; comunicazioni nello spazio, energia nello spazio, fabbriche nello spazio, colonizzazione dello spazio. Solo andando lassù, solo affrontando questo progetto così affascinante, possiamo sperare di indurre le nazioni a cooperare, e forse anche a porre fine ai pericolosi campanilismi della Terra. »

— Ma lei ritiene che siamo pronti mentalmente ad accettare dei cambiamenti così profondi come quelli che lo sviluppo tecnologico sembra già offrirci? In un certo senso stiamo ancora uscendo a fatica dal paleolitico: non è una transizione un po' troppo difficile?

« Effettivamente negli ultimi 50.000 anni si sono susseguite sulla Terra 1500 generazioni, di cui solo le ultime 60 sono state capaci in qualche misura di scrivere, e solo le ultime 6 hanno vissuto una civiltà industriale, 6 su 1500. Cosa possiamo aspettarci dagli esseri umani? È naturale che la gente spesso si senta a disagio, e muova obiezioni. Ma non si può pretendere di fermare un tifone mettendoglisi davanti. Bisogna imparare a cavalcare l'onda e fare del nostro meglio perché vada nella direzione da noi ritenuta più ragionevole. »

Negli ultimi 50.000 anni si sono susseguite 1500 generazioni di uomini. Solo le ultime 60 sapevano scrivere e solo le ultime 6 sono vissute in una civiltà industriale.

Questo di cavalcare il proprio tempo usando l'onda dello sviluppo tecnologico in modo intelligente, è con ogni probabilità il problema più importante che dobbiamo oggi affrontare.

Non si può, infatti, arrestare l'aumento progressivo delle conoscenze scientifiche e delle possibilità tecniche. Del resto nessuno desidera seriamente fermare questa crescita. Se guardiamo lo sviluppo umano nel suo insieme, è facile rendersi conto che la diffusione del benessere, della possibilità di liberarsi dalla miseria e dall'ignoranza e di partecipare come cittadini alle scelte politiche è strettamente legata a questo processo di sviluppo tecnico-scientifico.

Il fatto è che questa crescita porta con sé vantaggi e rischi. Molto più che in passato. Infatti se immaginiamo la tecnologia come un immenso pantografo, capace di amplificare sempre più i gesti dell'uomo (aumentando continuamente la sua capacità di muoversi e di comunicare, di produrre e di inquinare, di costruire e anche di distruggere), è evidente che questa amplificazione rispecchia i modi di agire e le contraddizioni del modello culturale che ne sta all'origine. Oggi piccoli gesti possono produrre grandi conseguenze, proprio perché gli errori possono essere ingigantiti dal pantografo.

Il problema delle scelte è diventato quindi fondamentale. Purtroppo la nostra cultura è oggi largamente in ritardo su questi tempi di sviluppo teconologico: manca di una vera strategia per affrontare in modo intelligente il futuro, in modo da poter agire coerentemente sul presente.

In pratica, noi oggi subiamo le crisi originate dall'imprevidenza di ieri: e stiamo ora preparando, altrettanto inconsapevolmente, le crisi di domani. Una maggiore capacità di agire (in politica e in economia) sul nostro sviluppo può derivare soltanto da una maggiore conoscenza dei processi tecnico-scientifici che sono alla base di questa impetuosa trasformazione. In altre parole non si può vivere in una società tecnologicamente avanzata con una cultura pre-scientifica. Questo porta inevitabilmente a dei collassi.

Ciò non significa che vi sia una contrapposizione tra cultura classica-letteraria e cultura scientifica; e che si debba scegliere una delle due. Significa piuttosto che dobbiamo cercare di integrarle insieme. È come per la vista: due occhi consentono una visione binoculare, e quindi consentono la profondità di campo. Proprio per valutare meglio le prospettive.

E questo qualunque sia la direzione verso cui si vuole andare. Infatti non basta disporre di una macchina o di un aereo, e scegliere una rotta. Bisogna conoscere bene le manovre per decollare e per evitare i rischi di percorso, compreso quello di rimanere senza carburante in volo.

Per guidare qualsiasi mezzo, un'auto, un camion, un aereo, occorre insomma una patente: per guidare una società occorre inevitabilmente una cultura (chiamiamola una cultura industriale) capace di capire i cambiamenti in corso e di compiere le manovre giuste.

Ciò non significa che bisogna mettersi a studiare chimica, fisica, o matematica: basta semplicemente informarsi, guardarsi intorno con una mente più aperta, con una *mentalità* scientifica, più attenta e consapevole. Basta, insomma, capire i concetti generali, e tenerne il debito conto al momento delle scelte.

Nel corso di questo libro abbiamo compiuto un significativo viaggio nel mondo della scienza e della tecnologia, destinato proprio a capire meglio i meccanismi di queste trasformazioni e anche le leve che muovono i comportamenti umani.

Abbiamo esplorato i cromosomi e l'eredità genetica che ci portiamo dentro, abbiamo visto come l'apprendimento, la comunicazione e l'informazione svolgano un ruolo determinante in questo processo di trasformazione, specialmente in società come le nostre che vivono in gruppi umani sempre più larghi. Abbiamo poi visto come il lanternino della scienza, con la sua metodologia, ci consenta di entrare nel mondo della materia per uscirne con nuove idee, permettendoci di capire sempre meglio l'universo in cui viviamo e le strutture che ci compongono. Abbiamo infine visto come la ricerca di energia, così importante per consentire lo sviluppo umano, sia legata alla

capacità di capire il nostro tempo: un tempo difficile, dove le crisi di popolazioni e di risorse si abbinano alla diffusione di armi sempre più distruttive. Un tempo, però, che potrebbe essere anche molto esaltante per le nuove frontiere che apre, impensabili per qualsiasi altra generazione che ci ha preceduto.

È un mondo, quello verso cui andiamo, che ha bisogno di essere capito. Questo libro ha voluto portare il suo modesto contributo in questa direzione: poiché al di là delle differenze politiche, ideologiche o religiose che dividono gli individui, esiste un comune interesse nel cercare metodi e criteri che permettano di procedere insieme, nel modo più intelligente, verso il futuro.

E questo grande sforzo di comprensione non può basarsi che sulla razionalità.

INDICE